

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR**



**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

# **APLICACIÓN PARA LA RECOMENDACIÓN DE DIAGNÓSTICO DE APNEA DEL SUEÑO**

**Máster Universitario en Investigación e Innovación en  
TIC (i<sup>2</sup> - TIC)**

**Autor: MARTÍN ALMANSA, Alejandro Antonio**

**Tutor: VARONA MARTÍNEZ, Pablo**  
**Departamento de Ingeniería Informática**

**Septiembre 2018**



# **APLICACIÓN PARA LA RECOMENDACIÓN DE DIAGNÓSTICO DE APNEA DEL SUEÑO**

**AUTOR: Alejandro Antonio Martín Almansa**

**TUTOR: Pablo Varona Martínez**

**Grupo de Neurocomputación Biológica**

**Dpto. Ingeniería Informática**

**Escuela Politécnica Superior**

**Universidad Autónoma de Madrid**

**Septiembre de 2018**



# Resumen

El Síndrome de Apneas-Hipoapneas del Sueño (SAHS) es uno de los trastornos del sueño más comunes. Este síndrome tiene un impacto social y económico muy elevado, debido a los efectos de la escasez de descanso durante la noche: puede reducir la productividad en el trabajo, aumentar el riesgo de accidentes a la hora de conducir un vehículo o incluso dar lugar a otras enfermedades graves.

Según los estudios aproximadamente el 90% de las personas que padecen esta enfermedad a nivel mundial no están diagnosticadas. Esto puede deberse al alto coste del estándar de diagnóstico, la polisomnografía, o a la escasa disponibilidad de camas en los hospitales en relación a la población mundial.

Por estas razones, es importante poder contar con un sistema de recomendación de diagnóstico de SAHS de bajo coste, no invasivo, sencillo de utilizar y accesible para un alto porcentaje de la población.

En el presente Trabajo de Fin de Máster se ha desarrollado un protocolo de registro de eventos respiratorios nocturnos a través de una aplicación para móviles. La aplicación es capaz de adquirir información biométrica del paciente y realizar de forma automática el registro de sonidos respiratorios durante la noche. Para validar el protocolo de recogida de sonidos respiratorios y su calidad, se reclutaron una serie de voluntarios que realizaron el registro con el teléfono móvil a la vez que realizaban una prueba de poligrafía domiciliaria con el dispositivo que graba los sonidos, registra la saturación de oxígeno en la sangre y recoge el resto de datos de esta prueba. En este trabajo también se ha comparado la calidad del sonido registrada con el dispositivo clínico y con el móvil.

# Abstract

The Obstructive Sleep Apnea Syndrome (OSAS) is one of the most common sleep disorders. This syndrome has a very big social and economic impact, due to the effects of the lack of rest during the night: it can reduce productivity at work, increase the risk of accidents when driving a vehicle or even lead to other serious diseases.

According to studies, approximately 90% of people with this disease are not diagnosed. This may be due to the elevated price of the standard diagnostic test, the polysomnography, or the scarce availability of beds in hospitals in relation to the world's population.

For these reasons, it is important to have a low-cost, non-invasive, simple to use and accessible SAHS diagnostic recommendation system for a high percentage of the population.

In this Master's Thesis, a nocturnal respiratory event recording protocol has been developed through a mobile application. The application is able to acquire biometric information from the patient and automatically record respiratory sounds at night. To validate the protocol for the collection of respiratory sounds and their quality, a series of volunteers were recruited who made the registration with the mobile phone while performing a home polygraph test with the device that records the sounds, the oxygen saturation in the blood and collects the rest of the data from this test. In this work, we have also compared the quality of the recorded sounds with the clinical device and with the mobile phone.



## *Agradecimientos*

En primer querría agradecer a toda mi familia, mis padres y mi hermano, el apoyo que me han dado durante todo el curso, su ayuda y su preocupación por mí día a día durante este año. Muchas Gracias. Os quiero.

Mencionar a mis abuelos. Ellos me han arropado y me han servido como ejemplo de superación en el día a día.

También me gustaría agradecer a aquellas personas que he conocido y me han ayudado durante este año en la universidad: compañeros de prácticas, profesores, personal de la universidad.

Mis amigos compañeros de trabajo. Gracias por vuestros consejos, por ayudarme y hacerme más fácil este año.

Gracias también a todas las personas del equipo de investigación del proyecto que me han ayudado compartiendo sus opiniones y dándome consejos para el diseño y desarrollo de la aplicación. Ángela Ramos Pinedo (Doctora del Hospital Fundación de Alcorcón), Francisco de Borja Rodríguez Ortiz, Francisco Rodríguez González y Óscar (Técnico del Hospital Fundación de Alcorcón), gracias por tratarme como uno más.

Gracias al Hospital Fundación de Alcorcón por darme la oportunidad de formar parte de este bonito e ilusionante proyecto de investigación.

Y por último, gracias a mi Tutor, Pablo Varona Martínez, por estos meses de ayuda constante. Gracias por todos los consejos, por la constante preocupación y dedicación, por enseñarme y compartir sus conocimientos y por hacerme sentir tan a gusto y aprender tanto de ti durante estos meses. Muchas Gracias. Ha sido un placer.



# INDICE DE CONTENIDOS

<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVACIÓN .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	1
1.3 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA .....	2
<b>2 ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>4</b>
2.1 APNEA DEL SUEÑO .....	4
2.2 DISPOSITIVOS MÓVILES Y LA SALUD .....	7
2.3 MERCADO DE PROTOCOLOS Y DISPOSITIVOS DE DIAGNÓSTICO DOMICILIARIO .....	8
2.3.1 Basados en Oximetría .....	8
2.3.2 Basados en el Análisis de la Respiración .....	9
2.3.3 Basados en Electrocardiograma .....	9
2.3.4 Basados en Sonido .....	9
2.3.5 Basado en Enfoques Combinados .....	10
2.4 ESTUDIO DE SISTEMAS OPERATIVOS EN DISPOSITIVOS MÓVILES .....	10
<b>3 METODOLOGÍA .....</b>	<b>11</b>
3.1 DISEÑO Y DESARROLLO DE LA APLICACIÓN APNEADIAG .....	14
3.2 DATOS DE GRABACIONES NOCTURNAS DE LOS PACIENTES .....	14
3.2.1 Reclutar Pacientes en Consulta .....	15
3.2.2 Reclutar Voluntarios .....	15
3.2.3 Realizar Registros de los Pacientes .....	16
3.2.4 Recogida de los Registros de los Pacientes .....	19
3.2.5 Introducción en la BBDD .....	19
3.3 ANÁLISIS DE LOS REGISTROS Y DIAGNÓSTICO .....	20
3.3.1 Filtrar Señal de Audio .....	21
3.3.2 Identificar Ronquidos .....	21
3.3.3 Analizar Ronquidos .....	22
3.3.4 Informe Diagnóstico .....	22
<b>4 DISEÑO .....</b>	<b>22</b>
4.1 REQUISITOS .....	22
4.1.1 Requisitos Funcionales .....	22
4.1.2 Requisitos No Funcionales .....	24
4.2 CASOS DE USO .....	25
4.3 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA .....	27
<b>5 DESARROLLO .....</b>	<b>35</b>
5.1 HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL PROYECTO .....	35
5.1.1 Maquetas y Diagramas .....	36
5.1.2 Imágenes y Elementos de la Aplicación .....	36
5.1.3 Entorno de Desarrollo .....	37
5.1.4 Análisis de Audios .....	37
5.1.5 Gestión de Referencias .....	37
5.2 SISTEMA DE ALARMAS .....	37
<b>6 PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
6.1 ANÁLISIS DE GRABACIONES .....	39
6.1.1 Datos Recogidos .....	39
6.1.2 Relación Señal/Ruido .....	40
6.1.3 Análisis de Ronquidos y Apneas .....	43
6.2 TEST DE MALLAMPATI .....	47
<b>7 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>48</b>

7.1 CONCLUSIONES.....	48
7.2 TRABAJO FUTURO .....	50
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>51</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>56</b>
A    CONSENTIMIENTO INFORMADO.....	56
B    MANUAL DE INSTALACIÓN .....	II
C    MANUAL DE USO PARA EL TÉCNICO DEL HOSPITAL .....	III
D    INSTRUCCIONES DE USO .....	IV
E    MAQUETAS DE LA APLICACIÓN.....	- 1 -

## INDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 2-1: TIPOS DE RESPIRACIÓN .....	4
ILUSTRACIÓN 2-2: POLISOMNOGRAFÍA .....	5
ILUSTRACIÓN 2-3: POLIGRAFÍA NOCTURNA DOMICILIARIA .....	6
ILUSTRACIÓN 2-4: PORCENTAJE DE POBLACIÓN POR SISTEMA OPERATIVO MÓVIL DESDE 2009 ....	11
ILUSTRACIÓN 3-1: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROYECTO.....	13
ILUSTRACIÓN 3-2: DIAGRAMA DE FLUJO FASE APLICACIÓN .....	14
ILUSTRACIÓN 3-3: DIAGRAMA DE FLUJO FASE GRABACIONES.....	15
ILUSTRACIÓN 3-4: ESPACIO PARA LA GESTIÓN DE LOS REGISTROS E INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN .....	17
ILUSTRACIÓN 3-5: TIPOS DE USB .....	18
ILUSTRACIÓN 3-6: DIAGRAMA DE FLUJO FASE ANÁLISIS GRABACIONES Y DIAGNÓSTICO.....	21
ILUSTRACIÓN 4-1: DIAGRAMA DE CASOS DE USO APNEADIAG .....	26
ILUSTRACIÓN 4-2: PANTALLA DE CARGA DE LA APLICACIÓN .....	28
ILUSTRACIÓN 4-3: FORMULARIO DE REGISTRO DE ID DE PACIENTE .....	29
ILUSTRACIÓN 4-4: INSTRUCCIONES DE USO DE LA APLICACIÓN .....	30
ILUSTRACIÓN 4-5: ESTADO LISTO .....	31
ILUSTRACIÓN 4-6: ESTADO GRABANDO.....	32
ILUSTRACIÓN 4-7: ESTADO FINALIZADO .....	33
ILUSTRACIÓN 4-8: ICONO DE ACCESO A LOS AJUSTES.....	33
ILUSTRACIÓN 4-9: AJUSTES DE LA APLICACIÓN .....	34
ILUSTRACIÓN 4-10: ICONO DE ACCESO A LA CÁMARA DEL MÓVIL .....	34
ILUSTRACIÓN 4-11: ICONO ACCESO FORMULARIO DE DATOS DEL PACIENTE.....	35
ILUSTRACIÓN 4-12: FORMULARIO DE DATOS DEL PACIENTE.....	35
ILUSTRACIÓN 5-1: ICONO DE LA APLICACIÓN APNEADIAG.....	36
ILUSTRACIÓN 5-2: LOGO DE LA APLICACIÓN APNEADIAG.....	36

ILUSTRACIÓN 6-1: SEÑALES COMPLETAS PACIENTE SANO .....	41
ILUSTRACIÓN 6-2: ESPECTROGRAMAS COMPLETOS PACIENTE SANO .....	41
ILUSTRACIÓN 6-3: SEÑALES COMPLETAS PACIENTE LEVE.....	41
ILUSTRACIÓN 6-4: ESPECTROGRAMAS COMPLETOS PACIENTE LEVE.....	42
ILUSTRACIÓN 6-5: SEÑALES COMPLETAS PACIENTE SEVERO.....	42
ILUSTRACIÓN 6-6: ESPECTROGRAMAS COMPLETOS PACIENTE SEVERO .....	42
ILUSTRACIÓN 6-7: SEÑALES RONQUIDOS PACIENTE LEVE .....	43
ILUSTRACIÓN 6-8: ESPECTROGRAMAS RONQUIDOS PACIENTE LEVE .....	44
ILUSTRACIÓN 6-9: APNEA NOXTURNAL PACIENTE LEVE .....	44
ILUSTRACIÓN 6-10: SEÑALES APNEA PACIENTE LEVE .....	45
ILUSTRACIÓN 6-11: ESPECTROGRAMA APNEA PACIENTE LEVE.....	45
ILUSTRACIÓN 6-12: SEÑALES RONQUIDOS PACIENTE SEVERO .....	45
ILUSTRACIÓN 6-13: ESPECTROGRAMAS RONQUIDOS PACIENTE SEVERO.....	46
ILUSTRACIÓN 6-14: APNEA NOXTURNAL PACIENTE SEVERO .....	46
ILUSTRACIÓN 6-15: SEÑALES APNEA PACIENTE SEVERO .....	46
ILUSTRACIÓN 6-16: ESPECTROGRAMAS APNEA PACIENTE SEVERO.....	47
ILUSTRACIÓN 6-17: ESCALA DE MALLAMPATI.....	48
ILUSTRACIÓN 6-18: TEST DE MALLAMPATI PACIENTE .....	48

## INDICE DE TABLAS

TABLA 2-1: NIVELES DE APNEA .....	4
TABLA 2-2: PORCENTAJE DE SISTEMAS OPERATIVOS MÓVILES UTILIZADOS EN 2018 .....	11
TABLA 6-1: DATOS RECOGIDOS DE LOS PACIENTES .....	39

# 1 Introducción

---

## 1.1 Motivación

El Síndrome de Apneas-Hipoapneas del Sueño (SAHS), también conocido como Síndrome de Apnea del Sueño, es un trastorno del sueño caracterizado por la obstrucción y recurrentes colapsos de la Vía Aérea Superior (VAS), lo cual impide una respiración normal durante las horas de sueño. Estos eventos que alteran la respiración pueden dar lugar a desórdenes neurológicos, a daños en la actividad cerebral o insuficiencia cardíaca entre otros.

El SAHS es uno de los trastornos del sueño más comunes, que tiene un impacto económico y social muy elevado. Esto se debe a la falta de descanso durante la noche, produciendo falta de concentración o cansancio acumulado, lo cual puede afectar de manera negativa a la vida de las personas, aumentando la probabilidad de sufrir accidentes o dando lugar a otras enfermedades graves [1] [2].

Según los estudios realizados, el 90% de las personas que padecen SAHS no están diagnosticadas. Las razones principales son el elevado coste del estándar principal de diagnóstico, la polisomnografía (PSG), y la escasez de camas en las Unidades de Sueño de los hospitales. Por ello, sería importante y de gran utilidad disponer de un sistema de recomendación de diagnóstico sencillo de utilizar, no invasivo, de bajo coste y que alcance a la gran mayoría de la población, para facilitar el procedimiento de diagnóstico tanto a los médicos, como a los pacientes.

La motivación del proyecto es el desarrollo de la aplicación móvil Apneadiag para realizar de una forma automática los registros de sonidos respiratorios nocturnos de los pacientes con la aplicación, así como recoger datos biométricos que contribuyen a la recomendación de diagnóstico. Estos datos podrán utilizarse en un sistema de clasificación automática para realizar la recomendación de diagnóstico. Para validar los registros, se han de comparar los sonidos registrados con los del polígrafo y analizar los eventos característicos y significativos que puedan facilitar el reconocimiento de las personas que padezcan SAHS. A partir de estas comparaciones, con los datos biométricos y del móvil que el paciente introduzca en la aplicación y con la oportunidad de hacer una foto de la boca (también en la aplicación) para el Test de Mallampati, se pretende llegar a realizar una recomendación de diagnóstico de SHAS a través del móvil.

La idea principal, es que la aplicación detecte posibles personas con SAHS, y que posteriormente estos pacientes reciban un diagnóstico médico y un tratamiento clínico. Esta aplicación permitirá almacenar a gran escala una cantidad elevada de datos para investigar y establecer nuevas técnicas de diagnóstico.

## 1.2 Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Máster es desarrollar la aplicación Apneadiag para poder registrar los sonidos respiratorios nocturnos de los pacientes, hacer

una foto de la boca para el Test de Mallampati y recoger los datos biométricos y del móvil del paciente. Todo ello será de gran utilidad para conseguir llegar a recomendar el diagnóstico de SAHS desde el móvil de los pacientes.

El proyecto cuenta con los siguientes objetivos:

- Desarrollo de la aplicación Apneadiag:
  - Incluir formulario de datos biométricos y del móvil del paciente. Los datos introducidos se deben almacenar en un fichero en la misma carpeta que la grabación.
  - Poder acceder a la cámara desde la aplicación para que el paciente se pueda hacer una foto de la boca. La foto se debe almacenar en la misma carpeta que la grabación y el fichero de datos.
  - El móvil debe emitir dos sonidos durante la grabación para que se sincronice con el registro del polígrafo: uno a la hora del comienzo y otro a la hora de fin del registro con el polígrafo.
- Registrar los sonidos respiratorios nocturnos de los voluntarios la misma noche, tanto con la aplicación, como con la poligrafía domiciliaria nocturna, para validar los registros y comprobar su calidad.
- Sincronizar ambos registros, ya que los sonidos de sincronización que emite el móvil se introdujeron en la aplicación después de haber obtenido las grabaciones.
- Realizar diferentes comparaciones entre ambos registros:
  - Obtener gráficamente una medida que permita comparar la calidad de ambos registros a través de una relación señal/ruido.
  - Comparar ronquidos de ambos registros para los diferentes niveles de severidad de apnea.
  - Comparar los sonidos de ambos registros en casos de diferentes niveles de severidad de apnea.

### **1.3 Organización de la memoria**

La memoria consta de los siguientes puntos:

1. **Introducción:** se describe la motivación del proyecto, sus objetivos y se resume cómo está estructurada la memoria.
2. **Estado del Arte:** se explica en profundidad el Síndrome de Apneas-Hipoapneas del Sueño, se analiza la relación entre el sector salud y los dispositivos móviles, se presentan diferentes técnicas y protocolos de diagnóstico utilizadas hoy en día y por último se realiza un estudio de los sistemas operativos móviles.
3. **Metodología:** se describe el procedimiento empleado desde el inicio hasta el final de este proyecto: reclutar voluntarios, obtención de los registros, la recogida, almacenamiento y análisis de las grabaciones y la exposición de los resultados.

4. **Pruebas y Resultados:** en este capítulo se detallan las pruebas realizadas para comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación y el análisis de los resultados obtenidos de los registros de los pacientes.
5. **Conclusiones y Trabajo Futuro:** se recogen las conclusiones obtenidas tras los resultados del proyecto y se menciona el trabajo futuro a realizar en la aplicación.
6. **Referencias:** se exponen las fuentes utilizadas a lo largo del proyecto.
7. **Glosario:** se propone una definición de los términos que puede que las personas que lean esta memoria no comprendan su significado.
8. **Anexos:** se adjunta el consentimiento informado que deberán firmar los pacientes antes del registro con la aplicación, los manuales de la aplicación (Manual de Instalación, Manual para el Técnico del Hospital y las Instrucciones de Uso) y las maquetas de las pantallas de la interfaz gráfica de la aplicación.



## 2 Estado del arte

### 2.1 Apnea del Sueño

El Síndrome de Apneas-Hipoapneas del Sueño (SAHS) o Apnea Obstructiva del Sueño (OSA), también conocido como Síndrome de Apnea del Sueño, es uno de los trastornos del sueño más comunes. Este síndrome consiste en la aparición de episodios, llamados apneas e hipoapneas, que impiden el paso del aire durante el sueño como consecuencia de una deformación anatómico-funcional de la Vía aérea superior (VAS) hasta su colapso [3]. Este colapso produce descensos de la saturación de oxígeno en sangre ( $SpO_2$ ) y microdespertares, provocando trastornos neuropsiquiátricos, respiratorios y cardíacos [3].

Los episodios que dan lugar a dichos colapsos son las apneas, en caso de cese total del flujo de aire por la vía aérea, o las hipoapneas, cuando el cese del flujo de aire es parcial [4]. En cambio, el cese del flujo de aire sin esfuerzo de los músculos respiratorios se define como apnea central del sueño (Central Sleep Apnea, CSA), y se asocia a trastornos neurológicos, daño del tronco encefálico e insuficiencia cardíaca congestiva [4].



Ilustración 2-1: Tipos de Respiración<sup>1</sup>

La severidad del trastorno está determinada por el Índice de Apnea-Hipoapnea (Apnea-Hypopnea Index, AHI), que se calcula como la media de apneas e hipoapneas por hora de sueño [5]. En base al AHI hay diferentes niveles de apnea como se recoge en la Tabla 2-1 [6].

Nivel de Apnea	AHI
Sano	< 5
Leve	5 a 15
Moderado	15 a 30
Severo	> 30

Tabla 2-1: Niveles de Apnea

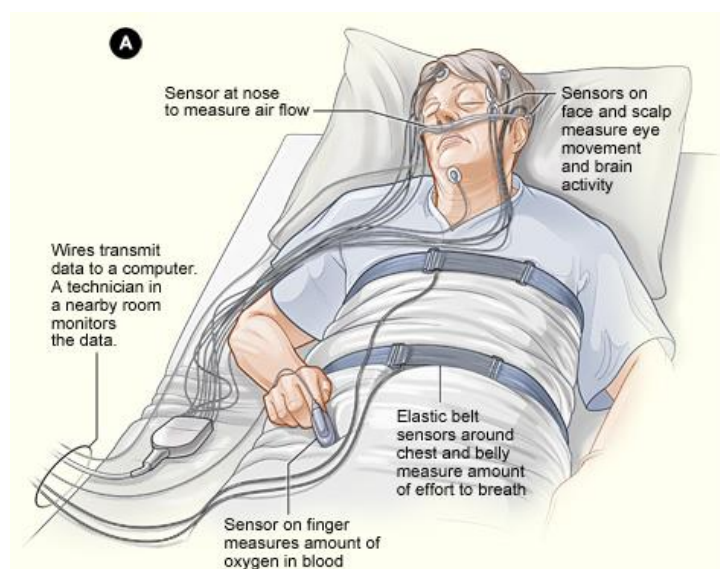
Los pacientes con SAHS presentan importantes limitaciones que dan lugar a un empeoramiento de la calidad de vida, ya sea porque el cansancio generado da lugar a

<sup>1</sup> Fuente: <http://www.odontal.com/ronquido-apnea-del-sueno/>

dificultades en la rutina diaria [1], o incluso llegando a producir enfermedades como la diabetes tipo II, el ictus cerebral, la isquemia cardíaca o disfunciones neurocognitivas [2].

Para diagnosticar el SAHS, además de revisar la historia clínica y realizar un examen físico del paciente, es necesario obtener la prueba diagnóstica en el laboratorio mediante una Polisomnografía clínica (PSG) [7]. La PSG es una prueba que consiste en el registro de la actividad cerebral, respiración, ritmo cardíaco, actividad muscular, niveles de oxígeno en sangre ( $SpO_2$ ), flujo de aire oronasal, movimientos respiratorios, posición del cuerpo, electroencefalograma (EEG), electrocardiograma (ECG), electromiograma (EMG) y electrooculograma (EOG) mientras el paciente duerme [5]. Normalmente, el análisis de estos datos, requiere que los doctores examinen las señales enteras de forma manual, lo cual es muy costoso en tiempo y esfuerzo [8].

Solo del 5% al 10% de la población que padece SAHS están diagnosticados [9]. Esto se debe al alto coste de la polisomnografía, que supera los 500 euros y a las pocas camas y especialistas que disponen las Unidades de Sueño de los hospitales en relación a la población mundial, ya que requiere que el paciente duerma la noche completa en el hospital [10]. En la Ilustración 2-2 se pueden ver los sensores que se le conectan al paciente para realizar la polisomnografía clínica en el hospital.



**Ilustración 2-2: Polisomnografía<sup>2</sup>**

Para afrontar estas dificultades se han desarrollado sistemas de grabación cuyo objetivo es abarcar un mayor número de la población reduciendo el coste y los parámetros de grabación [7] [11]. Estos dispositivos utilizan menos sensores que la PSG, pero en cambio, son más cómodos, ya que pueden ser utilizados en el propio domicilio del paciente, y habitualmente emplean algoritmos automáticos de detección de SAHS [5]. Un ejemplo de estas técnicas es la que se ha denominado Poligrafía Nocturna del Sueño Domiciliaria (Figura 2-7) [12].

---

<sup>2</sup> Fuente: <http://www.aystesis.com/procedimientos/medicina-del-sueno/polisomnografia/>



**Ilustración 2-3: Poligrafía Nocturna Domiciliaria**

Es una técnica para la cual se han desarrollado equipos portátiles (para que se pueda realizar tanto en el hospital como en el domicilio personal) que registra los sonidos emitidos, el estado de contracción muscular, el flujo del aire y el ritmo cardíaco del paciente [12]. Para realizar la PSG domiciliaria, cada hospital sigue un procedimiento diferente. Por ejemplo, el hospital con el que realizamos este proyecto, el Hospital Universitario Fundación de Alcorcón, llama al paciente para que acuda al hospital la noche de la prueba, un técnico le coloque los dispositivos de registro y regrese a dormir a su casa. La mañana siguiente, el paciente debe volver al hospital para que le retiren los dispositivos.

Cuenta con una desventaja con respecto a la polisomnografía convencional, ya que si hay casos en los cuales después de realizar la Poligrafía Domiciliaria se sospecha una patología neurológica, el paciente debería solicitar una polisomnografía convencional [12].

Por todas estas razones se han de crear nuevas técnicas que favorezcan y ayuden al sector salud con el diagnóstico de SAHS, que sean además de simples de utilizar, más baratas y más cómodas para el paciente que la polisomnografía y que alcancen a la gran mayoría de la población mundial.

Una solución interesante es utilizar el micrófono del teléfono móvil del paciente para tal fin. Hoy en día, la mayoría de las personas disponen de un móvil que les permite realizar grabaciones de los sonidos respiratorios nocturnos. Éste es un método muy útil y cómodo para monitorizar el sueño, ya que es barato y no molesta el sueño del paciente debido a que el micrófono no necesita ningún tipo de interacción para su funcionamiento. Estos registros

se pueden usar para identificar ronquidos, respiración normal o eventos obstructivos, y así ayudar el diagnóstico de SAHS [10] [13].

## **2.2 Dispositivos Móviles y la Salud**

En una entrevista con la BBC, Sir Bruce Keogh, Director Médico de National Health Service (NHS) inglés declaró: “el hospital del futuro está en el hogar” [14].

Las nuevas tecnologías permiten monitorizar nuestra vida diaria, tanto pública, como privada, acumular información de todo tipo a gran escala, almacenarla y tratar dicha información [15]. El uso de estas nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) permite agrupar a diario millones de datos, que después de su análisis y tratamiento, pueden ser de gran utilidad para la investigación de enfermedades o valorar los efectos de los medicamentos entre otros. Por ello, la importancia de la tecnología en la medicina se está volviendo cada vez más evidente, ya que cambiará a corto y medio plazo el sector salud, a pesar de que éste sea uno de los sectores más complejos y que se adapta con mayor lentitud a este ámbito de las TIC [16].

En los últimos años se han desarrollado tecnologías médicas con un coste cada vez más reducidos que generan millones diariamente. Se estimó que en 2012 se produjeron alrededor de 500 petabytes (1 PB =  $10^{15}$  Bytes) de datos de salud en formato digital y que en 2020 aumentará hasta 25.000 petabytes [17]. Pero no todo son ventajas, ya que la información biomédica es muy voluminosa, se encuentra almacenada de forma dispersa y es muy heterogénea, un reto fundamental es recoger dicha información y almacenarla de modo que se pueda analizar, compartir y utilizar fácilmente. Estos datos pueden ser muy útiles para investigar patologías, generar nuevos tratamientos, mejorar la administración de la gestión médica y prevenir, diagnosticar y efectuar protocolos de seguimiento de enfermedades más eficaces [18].

Los teléfonos móviles pueden jugar un papel fundamental para cumplir estos objetivos, ya que los usuarios de móvil superan los 5.000 millones [19] (un 67% de la población total: 7.500 millones de personas aproximadamente), y disponen de diferentes sensores capaces de recoger, tratar y comunicar información relacionada con la salud en tiempo real.

También se han integrado sensores inalámbricos en objetos cotidianos que permiten generar y almacenar datos médicos en nuestros teléfonos. Por ejemplo, los relojes de pulsera que monitorean de forma continua la presión arterial [18] u otros monitores portátiles que están actualmente en desarrollo como por ejemplo los que incluyen lentes de contacto para controlar el nivel de glucosa o la presión ocular, las cintas para la cabeza que tienen sensores integrados de EEG o collares para el monitoreo de ECG las 24 horas del día [20] [21] [22]. Estos dispositivos ayudan a los pacientes a tener un mejor control acerca de las investigaciones que reciben sobre su salud [18]. Los teléfonos, además de monitorizar todo tipo de señales, también ofrecen un mayor control en la relación doctor-paciente [18].

Los dispositivos móviles también pueden conducir a un abaratamiento de los sistemas de diagnóstico y seguimiento de enfermedades, así como a la universalización de dichos sistemas. Por ejemplo, el coste de un pulsioxímetro que se conecta al móvil es de 65\$, es decir, un 1% del coste normal de un oxímetro [23].

Por todo ello, la incorporación a los móviles de aplicaciones que utilicen sus sensores o se conecten inalámbricamente a dispositivos para el diagnóstico y tratamiento de patologías, provocará una mejora en la esperanza y calidad de vida de las personas.

## **2.3 Mercado de Protocolos y Dispositivos de Diagnóstico Domiciliario**

En este punto se hará un estudio de mercado de los diferentes protocolos y dispositivos de monitorización domiciliaria que existen para la recomendación de diagnóstico de apnea del sueño.

Estos protocolos se están creando como alternativa al actual método de diagnóstico que es la polisomnografía, para permitir a los pacientes una monitorización domiciliaria [5]. Como se ha mencionado anteriormente, estos dispositivos utilizan menos sensores que la PSG, son más cómodos para los pacientes y emplean algoritmos automáticos para la detección de SAHS.

Estos protocolos de diagnóstico se dividen en cinco categorías dependiendo del método que se utiliza para detectar apnea del sueño. Los primeros cuatro emplean sólo un sensor: oximetría, respiración, electrocardiograma (ECG) y sonido. Mientras que el quinto es una combinación de dos o más sensores.

### **2.3.1 Basados en Oximetría**

La Oximetría es una técnica utilizada para medir la saturación de oxígeno en sangre. Normalmente se recogen los datos a través de un pulsioxímetro que analiza la saturación de oxígeno arterial del paciente utilizando un sensor colocado en un dedo de la mano.

Burgos et al. [24] desarrollaron un dispositivo que enviaba vía Bluetooth los datos oximétricos a un Asistente Digital Personal (PDA, *Personal Digital Assistant*). En el PDA, se ejecutaba un proceso basado en árboles de decisión para clasificar los fragmentos de la señal.

Zhang et al. [25] y Oliver y Flores-Mangas [26] presentaron un dispositivo que consistía en un pulsioxímetro que recogía el nivel de oxígeno en sangre y el pulso del paciente y enviaba los datos, a través de Bluetooth, a un teléfono móvil, donde éstos se examinaban y analizaban con un algoritmo para detectar SAHS.

Garde et al. [27] usaron un dispositivo móvil que combinaba un teléfono móvil y un pulsioxímetro. Este dispositivo medía el nivel de  $SpO_2$  y a través de un algoritmo se analizaban los datos en el dominio de tiempos y en el de frecuencias.

Angius y Raffo [28] adquirirían la señal fotoplethysmográfica (PPG, *Photoplethysmography*) de un sensor de  $SpO_2$  incrustado en la zona del dedo de un guante para monitorizar en tiempo real el SAHS desde el domicilio de los pacientes.

### **2.3.2 Basados en el Análisis de la Respiración**

La apnea del sueño se caracteriza por una drástica reducción o cese de respiración, por lo que el análisis de la respiración puede identificar claramente la presencia de apnea del sueño [5].

Shin et al. [29] y Mack et al. [30] utilizaron un enfoque basado en un colchón de aire con un tubo de equilibrio centrado en el balistocardiograma (BCG, *Ballistocardiograph*) como unidad de detección de movimientos del cuerpo relacionados con el proceso respiratorio. Los eventos se clasificaban según la variación y la intensidad de la respiración para detectar SAHS.

Jin y Sánchez-Sinencio [31] usaron un sensor de presión para registrar el flujo de aire nasal, basado en un sistema microelectromecánico, y que a través de un canal se pueda monitorizar el SAHS desde el domicilio de los pacientes.

Nam et al. [32] instalaron en la cama un sensor de presión para evaluar la respiración de los pacientes y transmitir los datos de forma inalámbrica a un ordenador donde se analizaban los registros.

Rodriguez-Villegas et al. [33] detectaban desórdenes en la tráquea producidos por los eventos respiratorios usando una cámara acústica, mientras que los datos se analizaban primero en el dispositivo y posteriormente en el ordenador al cual se le enviaban los datos de forma inalámbrica.

### **2.3.3 Basados en Electrocardiograma**

A través del electrocardiograma se puede recoger la actividad eléctrica del corazón. Es importante analizar esto debido a que durante períodos de apnea, los pacientes muestran alteraciones en el ritmo cardíaco [5].

Salem et al. [34] y Bsoul et al. [35] utilizaban un único electrodo de ECG para transmitir vía Bluetooth el registro a un teléfono móvil inteligente, donde se analizaban los datos para detectar SAHS.

Otero et al. [36] utilizaron también un único electrodo ECG, como Salem et al. [34] y Bsoul et al. [35], pero en estos proyectos cambiaban el teléfono móvil inteligente por un PDA (Asistente Digital Personal) y utilizaban otros algoritmos de detección de SAHS.

### **2.3.4 Basados en Sonido**

Durante los períodos de apnea, se pueden detectar sonidos específicos que ayuden a diagnosticar SAHS [5].

Kaniusas et al. [37] utilizaron un micrófono conectado a un estetoscopio a través de un tubo de plástico para registrar los ronquidos de los pacientes.

Zhao et al. [38] situaron un micrófono debajo de la boca del paciente para recoger los sonidos respiratorios nocturnos.

Nakano et al. [39] analizaron señales de sonido de la tráquea usando un espectrógrafo conectado a un micrófono. Éste se acopla a la parte delantera del cuello del paciente, encima de la tráquea.

Nandakumar et al. [40] utilizaron los teléfonos móviles como sistema sonar. En este enfoque, el altavoz del móvil emitía ondas de sonido, que a su vez se registraban a través del micrófono del propio móvil.

### **2.3.5 Basado en Enfoques Combinados**

También es posible combinar dos o más procedimientos mencionados anteriormente para tener la posibilidad de realizar un mejor diagnóstico [5].

Al-Mardini et al. [41] estimaban los esfuerzos respiratorios usando un micrófono acoplado a la garganta del paciente. El móvil registraba los datos y estimaba el AHI. También, conectaban al móvil un pulsioxímetro para determinar el Índice de Desaturación de Oxígeno (ODI, *Oxygen Desaturation Index*).

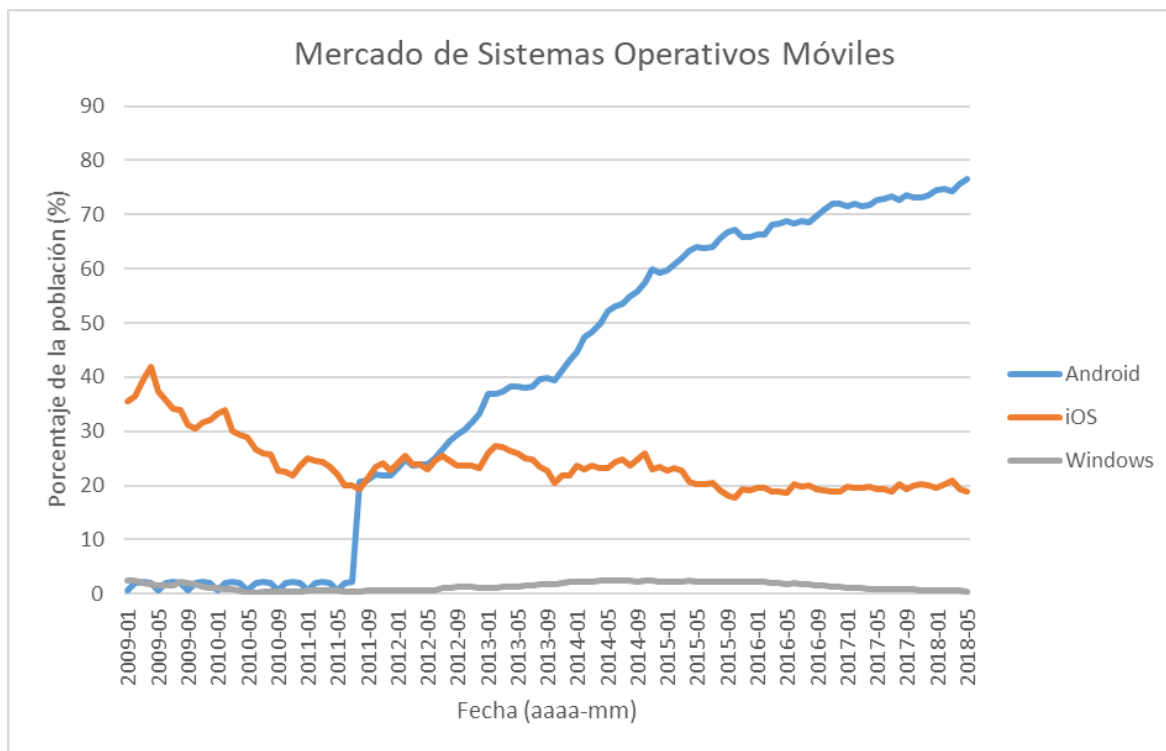
Dündar et al. [42] utilizaron un dispositivo Holter para registrar ECG, SpO<sub>2</sub>, flujo de aire y los movimientos respiratorios.

Yadollahi y Moussavi [43] propusieron detectar SHAS utilizando oximetría y los sonidos respiratorios nocturnos.

## **2.4 Estudio de Sistemas Operativos en Dispositivos Móviles**

En el presente apartado, se realizará un estudio de los diferentes sistemas operativos de los teléfonos móviles para así comprender porqué se ha decidido desarrollar la aplicación de este TFM en el sistema operativo Android.

En el siguiente gráfico se muestra la evolución, según StatCounter, del uso de los diferentes sistemas operativos para teléfonos móviles desde enero de 2009 hasta mayo de 2018 [44]. Como se observa, el sistema operativo Android, desde su lanzamiento en septiembre de 2008 [45] hasta mediados de 2011 se mantuvo en porcentajes bastante bajos de población. Mientras que, a partir de ese año, comenzó a extenderse hasta llegar a fecha de hoy y abarcar a la gran mayoría de la población. El caso de iOS es bien diferente, ya que hasta la aparición de Android en el mercado estaba en continuo crecimiento. Con el lanzamiento de Android, iOS se vio bastante afectado, siguiendo una tendencia a la baja, que aún hoy en día conserva.



**Ilustración 2-4: Porcentaje de Población por Sistema Operativo Móvil desde 2009**

En la siguiente Tabla 2-2 se muestra una comparación entre diferentes fuentes (StatCounter [44], NetMarketShare [46] y Statista [47]), del porcentaje de sistemas operativos móviles utilizados por los usuarios en 2018:

Sistema Operativo	NetMarketShare	StatCounter	Statista
<b>Android</b>	<b>70.96%</b>	<b>76.53%</b>	<b>85.9%</b>
<b>iOS</b>	<b>27.84%</b>	<b>18.97%</b>	<b>14.1%</b>
<b>Windows Phone</b>	<b>0.13%</b>	<b>0.49%</b>	<b>-</b>

**Tabla 2-2: Porcentaje de Sistemas Operativos Móviles Utilizados en 2018**

Aunque con porcentajes diferentes, las tres fuentes coinciden en que Android es el sistema operativo móvil con más usuarios, por ello, ya que uno de los objetivos principales de esta aplicación es que sea accesible para el mayor número de personas posible, se ha decidido desarrollar la aplicación en sistema operativo Android.

## 3 Metodología

En este apartado se detalla la estrategia seguida para la obtención de las grabaciones de los pacientes, su método de almacenamiento, el proceso para la analizar los registros en cuanto a su calidad y realizar una comparación con los registros de la poligrafía domiciliaria en voluntarios bajo la supervisión de los médicos del hospital.

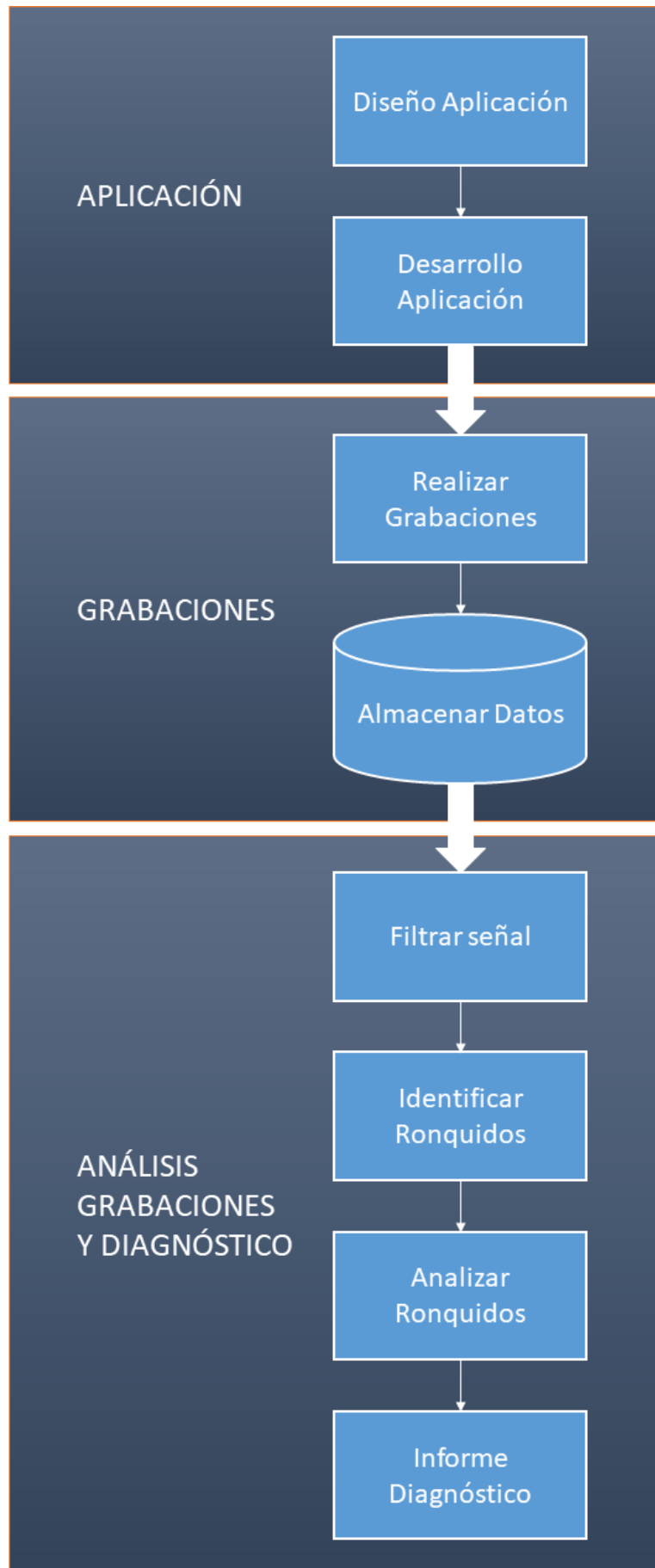
Esta estrategia consta de tres fases, que a su vez pueden dividirse en diferentes subfases:

1. Diseño y desarrollo de la aplicación Apneadiag.



2. Realizar las grabaciones nocturnas de los pacientes.
3. Análisis de los registros y comparación con los de la poligrafía domiciliaria.

En un futuro esta aplicación se integrará en un sistema de clasificación y recomendación de diagnóstico que se está desarrollando en el Grupo de Neurocomputación Biológica de la UAM [13]. En la Ilustración 3-1 se muestra el diagrama de flujo del procedimiento empleado en este proyecto, desde la recogida de requisitos de la aplicación, hasta conseguir una futura recomendación de diagnóstico de apnea del sueño:

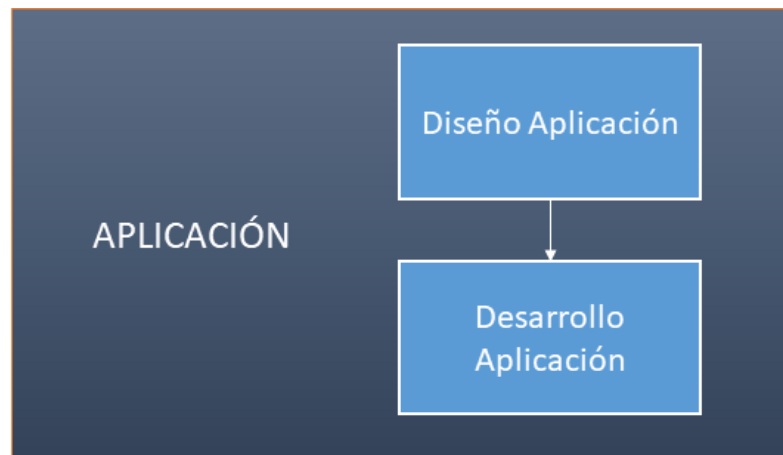


**Ilustración 3-1: Diagrama de Flujo del Proyecto**

A continuación, se analiza en profundidad cada una de ellas con sus subtarear.

### **3.1 Diseño y Desarrollo de la Aplicación Apneadiag**

El objetivo que se planteó en esta primera fase fue desarrollar una aplicación (Apneadiag) para teléfonos móviles Android, desde la cual poder realizar los registros de los pacientes.

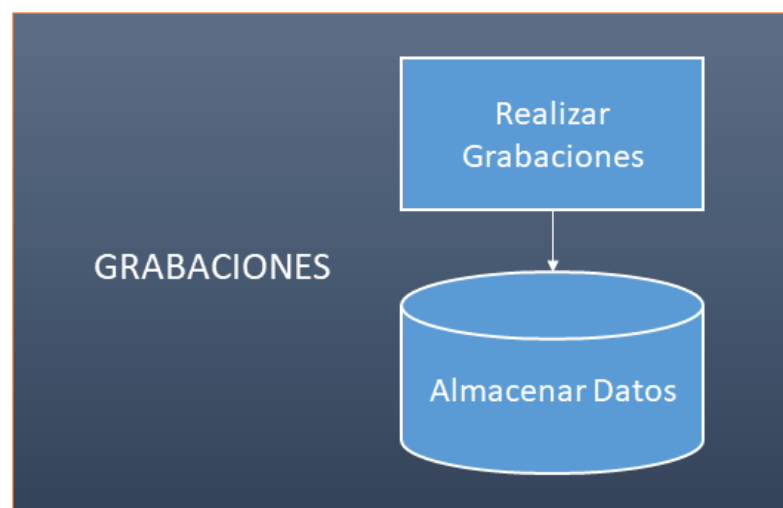


**Ilustración 3-2: Diagrama de Flujo Fase Aplicación**

Sus dos subfases, que como se observa en la Ilustración 3-2 son el Diseño y Desarrollo de la aplicación Apneadiag, se explican en detalle en los puntos 4 y 5 de esta memoria respectivamente.

### **3.2 Datos de Grabaciones Nocturnas de los Pacientes**

En esta fase se realiza la recogida de datos de los pacientes. Los datos recogidos tanto por la poligrafía domiciliaria como por la aplicación móvil, se almacenan en la base de datos creada para este proyecto de investigación para su tratamiento y análisis en fases sucesivas del proceso. A continuación, se ilustran las subfases de esta fase de Grabaciones:



### Ilustración 3-3: Diagrama de Flujo Fase Grabaciones

#### 3.2.1 Reclutar Pacientes en Consulta

Todos los pacientes que acuden a consulta, el médico correspondiente analiza sus síntomas y según crea conveniente le sugiere o no realizar la prueba diagnóstica, ya se polisomnografía o poligrafía domiciliaria nocturna.

#### 3.2.2 Reclutar Voluntarios

Para este proyecto de investigación, ha sido necesaria la colaboración de pacientes que se presentasen voluntarios para ser grabados durante la noche tanto con la aplicación como con la poligrafía domiciliaria.

Dado que las grabaciones son datos de carácter personal, es necesario remitirse al Real Decreto 1720/2007, de 21 de diciembre, [48] por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal [49].

El Real Decreto, en su Artículo 2 (Ámbito objetivo de aplicación), especifica:

*“1. El presente reglamento será de aplicación a los datos de carácter personal registrados en soporte físico, que los haga susceptibles de tratamiento, y a toda modalidad de uso posterior de estos datos por los sectores público y privado.”*

Para una mejor comprensión sobre su aplicación, el Real Decreto ofrece también una serie de definiciones en su Artículo 5 (Definiciones):

*“f) Datos de carácter personal: Cualquier información numérica, alfabética, gráfica, fotográfica, acústica o de cualquier otro tipo concerniente a personas físicas identificadas o identificables.*

*g) Datos de carácter personal relacionados con la salud: las informaciones concernientes a la salud pasada, presente y futura, física o mental, de un individuo. En particular, se consideran datos relacionados con la salud de las personas los referidos a su porcentaje de discapacidad y a su información genética.*

*i) Encargado del tratamiento: La persona física o jurídica, pública o privada, u órgano administrativo que, solo o conjuntamente con otros, trate datos personales por cuenta del responsable del tratamiento o del responsable del fichero, como consecuencia de la existencia de una relación jurídica que le vincula con el mismo y delimita el ámbito de su actuación para la prestación de un servicio.*

*Podrán ser también encargados del tratamiento los entes sin personalidad jurídica que actúen en el tráfico como sujetos diferenciados.*

*k) Fichero: Todo conjunto organizado de datos de carácter personal, que permita el acceso a los datos con arreglo a criterios determinados, cualquiera que fuere la forma o modalidad de su creación, almacenamiento, organización y acceso.*

*o) Persona identificable: toda persona cuya identidad pueda determinarse, directa o indirectamente, mediante cualquier información referida a su identidad física, fisiológica, psíquica, económica, cultural o social. Una persona física no se considerará identificable si dicha identificación requiere plazos o actividades desproporcionados.*

*q) Responsable del fichero o del tratamiento: Persona física o jurídica, de naturaleza pública o privada, u órgano administrativo, que sólo o conjuntamente con otros decida sobre la finalidad, contenido y uso del tratamiento, aunque no lo realizase materialmente.*

*Podrán ser también responsables del fichero o del tratamiento los entes sin personalidad jurídica que actúen en el tráfico como sujetos diferenciados.*

*t) Tratamiento de datos: cualquier operación o procedimiento técnico, sea o no automatizado, que permita la recogida, grabación, conservación, elaboración, modificación, consulta, utilización, modificación, cancelación, bloqueo o supresión, así como las cesiones de datos que resulten de comunicaciones, consultas, interconexiones y transferencias.”*

Por estas razones y así cumplir con la Ley Orgánica 15/1999 y con el Real Decreto 1720/2007, todos los datos recogidos han sido tratados de forma completamente anónima, para que de esta forma no se puedan vincular a ninguna persona física y no sea necesaria su inscripción en el Registro de la Agencia Española de Protección de Datos.

También, para garantizar la protección de los datos y dejar constancia de que desean participare en el proyecto, los pacientes, deberán firmar un consentimiento informado (Anexo A) para permitir grabar y analizar sus sonidos respiratorios nocturnos.

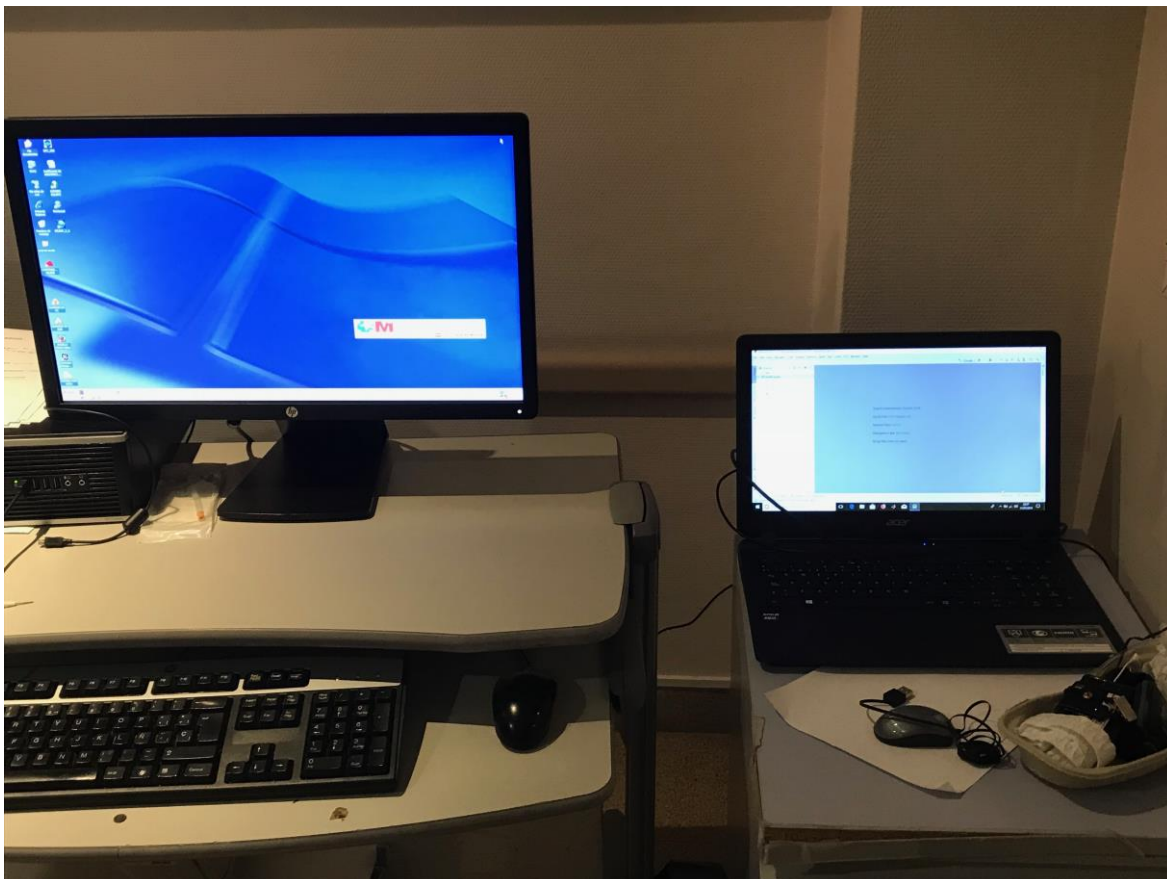
Los voluntarios se reclutan el mismo día que se citan para realizar la poligrafía nocturna domiciliaria. Para ello, cuando los pacientes llegan al hospital (máximo 4 pacientes por noche), el técnico o la doctora del hospital les comunicará que se está realizando un proyecto de investigación para facilitar y abaratar el proceso de diagnóstico de apnea del sueño, y así los pacientes decidan si quieren colaborar o no. En caso de que quieran colaborar, se les hará firmar el consentimiento informado para dejar constancia de que eligieron ser partícipes del proyecto. Estos pacientes realizarán el registro sonoro a través de la aplicación de forma simultánea a la prueba domiciliaria.

A cada voluntario se le asigna un identificador único para poder gestionar las grabaciones de forma anónima y rápida y no incumplir con la Ley Orgánica de Protección de Datos. Este identificador es diferente también al de la historia clínica.

Se han conseguido 8 voluntarios, 5 son mujeres y 3 son hombres, de los cuales 6 roncan: 4 mujeres y 2 hombres.

### **3.2.3 Realizar Registros de los Pacientes**

El primer paso consiste en que el técnico del hospital, 10 minutos antes de la llegada de los pacientes, encienda el ordenador portátil instalado en el hospital para el proyecto (Ilustración 3-4), a través del cual se instalará la aplicación. Este paso es importante, ya que, además de tardar unos minutos en encenderse, el ordenador también abre automáticamente al iniciarse el entorno Android Studio [50] (programa a través del cual se instalará la aplicación Apneadiag en los móviles).



**Ilustración 3-4: Espacio para la Gestión de los Registros e Instalación de la Aplicación**

Los pacientes que decidan participar en el proyecto, una vez firmen los consentimientos, irán pasando al laboratorio uno por uno para que se les instale la aplicación Apneadiag en sus teléfonos móviles para realizar la grabación nocturna. Para ello, el técnico del hospital deberá conectar mediante USB el teléfono móvil al ordenador portátil instalado en el hospital para el proyecto.

El técnico deberá observar si el USB del móvil es USB C (izquierda de la Ilustración 3-5) o Micro USB (derecha de la Ilustración 3-5) para utilizar un cable u otro:



**Ilustración 3-5: Tipos de USB<sup>3</sup>**

Cuando el técnico conecte el móvil tendrá que instalar la aplicación en el móvil. Dado que, al iniciarse el ordenador, se configuró que automáticamente el Android Studio se abriera con el proyecto de la aplicación por defecto, el siguiente paso es activar en el dispositivo móvil el Modo Desarrollador (paso 5 del Manual de Instalación, Anexo B). Para seguir con la instalación, se debe activar en el móvil del paciente la opción Depuración por USB (paso 6 del Manual de Instalación, Anexo B). Es necesario activar estas dos opciones para que el teléfono móvil aparezca como dispositivo disponible para instalar la aplicación desde Android Studio.

Para finalizar con la instalación, se deberá pulsar el botón “Run app” (▶), aceptar el permiso que se solicita en el móvil para activar la depuración por USB y seleccionar el dispositivo deseado para la instalación en la lista de dispositivos disponibles.

Al técnico del hospital se le explicó este procedimiento y se le entregaron unas instrucciones de apoyo explicando el proceso de instalación paso a paso (Anexo C).

Una vez instalada la aplicación, se abrirá automáticamente en el móvil. Tras la pantalla de inicio, se mostrará una pantalla con un formulario de un campo, en el cual el técnico del hospital deberá introducir el ID asociado al paciente.

Tras aceptar el formulario, el técnico facilitaba una breve descripción del uso de la aplicación y de cómo se debía realizar la grabación en el domicilio de los pacientes.

En cuanto a la aplicación, el proceso de grabación es automático, por lo que lo único que no debía hacer el paciente era cerrar o detener la aplicación. Mientras que no cerrase o detuviese la aplicación, el paciente podía usar el teléfono con total normalidad, manteniendo la aplicación Apneadiag en segundo plano.

---

<sup>3</sup> Fuente [https://usb.brando.com/usb-3-1-type-c-male-to-microusb-male-cable\\_p12380c0032d015.html](https://usb.brando.com/usb-3-1-type-c-male-to-microusb-male-cable_p12380c0032d015.html)

Para que la grabación pueda comenzar, el móvil del paciente debe disponer de 100 MB de espacio en la memoria interna del teléfono. Si se dispone de tal espacio, la grabación comenzará automáticamente a las 23:40 del día de la instalación. Recogerá los sonidos respiratorios nocturnos del paciente durante 7 horas, terminando a las 6:50 de la mañana del día siguiente.

En lo que respecta las pautas de grabación en el domicilio, el paciente debía:

- Activar el modo avión en el móvil para no interrumpir la grabación, salvo en caso de que estuviese a la espera de una llamada urgente (las llamadas son prioritarias y cierran cualquier proceso abierto).
- Poner a cargar el móvil para que no se quede sin batería durante la noche, ya que debe grabar durante 7 horas.
- Depositar el móvil cerca de la cabeza del paciente, ya sea sobre la mesilla de mesa o cualquier soporte cercano a la almohada que pueda sostener el teléfono y colocarlo orientando el micrófono (parte inferior del teléfono) hacia la cabeza del paciente para poder registrar mejor el sonido.

Una vez se instale la aplicación, el técnico deberá colocarle al paciente el polígrafo para que se registren todas las señales necesarias y poder comparar ambos registros posteriormente.

### **3.2.4 Recogida de los Registros de los Pacientes**

Después de haber estado toda la noche grabando, el paciente deberá acudir al hospital por la mañana para que se recojan el polígrafo y las grabaciones, tanto de la poligrafía, como la de la aplicación.

Los registros del polígrafo se recogerán conectando el polígrafo al ordenador del hospital y a través de la herramienta Noxturnal [51].

En cambio, para extraer el audio grabado con la aplicación, es necesario conectar el móvil al ordenador portátil del proyecto a través de USB. Cuando se conecte, hay que comprobar que el modo “Utilizar USB para” del teléfono es Transferir Archivos. Para recoger el audio, habrá que abrir a un Explorador de Archivos en el ordenador, acceder a la carpeta del Almacenamiento Interno del móvil, cortar la carpeta que tiene como nombre el ID del paciente y pegarla en la carpeta Grabaciones que se encuentra en el Escritorio. Cuando se termine de pegar, habrá que desinstalar la aplicación del móvil del paciente. Este proceso de extracción del audio está más detallado en el Manual de Uso para el Técnico del Hospital (Anexo C).

### **3.2.5 Introducción en la BBDD**

Todas las grabaciones recogidas (poligrafía y aplicación) y todos los datos posibles acerca de los dispositivos y las grabaciones se almacenan en una base de datos. Dicha base de datos está compuesta por varias tablas y se utiliza para:

- Almacenar los datos y los resultados de forma estructurada.
- Facilitar el manejo de los datos para su análisis.



- Acceder a los datos por parte de distintos investigadores.
- Controlar los permisos de acceso a los datos almacenados para cumplir con los requisitos de la Ley de Protección de Datos.
- Facilitar la carga de datos desde la aplicación Apneadiag.

Los datos del paciente se introducen en la tabla “paciente”, creando una entrada para cada uno de ellos. Los valores necesarios son:

- Identificador de paciente asignado por el hospital.
- Género.
- Edad.
- Peso.
- Altura.

Los datos de los dispositivos de registro (sólo de los móviles) se almacenan en la tabla “grabadora”, ya que cada paciente tiene su propio móvil. Los valores que se recogen son:

- Identificador para saber a qué paciente corresponde el móvil.
- Marca.
- Modelo.
- Formato de la grabación.
- Número de canales de registro.
- Bit rate.
- Frecuencia de muestreo.

Las características de los audios recogidos se almacenan en la tabla “audio”. Los campos necesarios son:

- Identificador para saber a qué paciente corresponde la grabación.
- Nombre del fichero de audio.
- Fecha del registro.
- Formato de la grabación.
- Número de canales de registro.
- Bit rate.
- Frecuencia de muestreo.

Los ficheros recogidos se almacenan en una tabla utilizando el mecanismo LARGE OBJECTS debido a su tamaño, el cual permite almacenar registros con un tamaño máximo de 4 TB.

### **3.3 Análisis de los Registros y Diagnóstico**

Las guías clínicas sugieren cuatro tipos de metodologías de diagnóstico de apnea del sueño: Nivel 1 o PSG estándar; Nivel 2 o PSG domiciliaria no supervisada (se pueden registrar señales en casa); Nivel 3 o sistemas portátiles de diagnóstico de SAHS (dispositivos que registran cuatro o más parámetros cardiopulmonares); Nivel 4 o registro continuo de uno o dos bioparámetros [8]. Los esfuerzos se están orientando en la mayor parte de los casos a identificar métodos alternativos de Nivel 1 para el diagnóstico de SAHS y así permitir a los médicos detectar automáticamente y objetivamente eventos característicos de la apnea del sueño ahorrando tiempo y trabajo y alejándose cada vez más de los primeros tres niveles [8]. Por esta razón, el objetivo de esta fase del proyecto es crear un sistema de análisis de los datos recogidos por las aplicaciones de los voluntarios

para conseguir dar una recomendación de diagnóstico de apnea del sueño y facilitar a los médicos todo su trabajo. Para ello, los sistemas deben detectar ronquidos estándar y ronquidos post apnéicos, medir intervalos de apnea y proporcionar datos útiles para ayudar a los médicos a detectar SAHS.

A continuación, habiendo almacenado todos los datos de los registros en una base de datos, se muestra el diseño conceptual de un sistema de recomendación de diagnóstico por fases genérico, dado que los algoritmos que componen cada una de estas fases de este procedimiento pueden ir cambiando con el tiempo:



**Ilustración 3-6: Diagrama de Flujo Fase Análisis Grabaciones y Diagnóstico**

### **3.3.1 Filtrar Señal de Audio**

En primer lugar, hay que filtrar la señal obtenida de la fase anterior. Para ello, se pueden utilizar diferentes herramientas, como son: National Instruments LabVIEW [52], el lenguaje de programación Matlab [53], Audacity [54], librerías de Python [55], etc.

Se pueden emplear diferentes filtros para las señales a partir de los parámetros obtenidos de los sistemas anteriores. Pero, en general, las señales de ronquido se filtran a través de un filtro paso banda FIR (*Finite impulse response*) [8].

### **3.3.2 Identificar Ronquidos**

El siguiente paso es, dado que las señales tienen, además de eventos de ronquidos, sonidos respiratorios y sonido de fondo, hay que realizar una segmentación para separar los ronquidos de los demás eventos registrados [8]. Para ello, se puede utilizar un software libre que permite grabar, reproducir y editar audio entre otras muchas herramientas: Audacity [54] así como un sistema de reconocimiento automático especializado en esta tarea [13].

### 3.3.3 Analizar Ronquidos

Para identificar los ronquidos a través de Audacity, se pueden realizar diferentes análisis, como son los análisis de dominio del tiempo y análisis de dominio de frecuencia, medidas de energía etc. Estos algoritmos nos permiten diferenciar entre los distintos tipos de ronquido e identificar las apneas para conseguir diferenciar entre pacientes sanos o pacientes que padecen apnea del sueño.

### 3.3.4 Informe Diagnóstico

Los resultados obtenidos del análisis realizado en la fase anterior pueden recogerse en un informe detallado de recomendación de diagnóstico. Este informe se proporcionaría tanto a los usuarios como a los médicos del hospital y para que ellos puedan iniciar un tratamiento con los pacientes que, según ellos, crean conveniente.

## 4 Diseño

---

### 4.1 Requisitos

El objetivo principal de la aplicación Apneadiag es grabar los sonidos respiratorios nocturnos de los pacientes para que analizando las grabaciones sea posible llegar a realizar una recomendación de diagnóstico. Para ello, la aplicación deberá grabar sonido durante las mismas 7 horas en las que el polígrafo recoge los parámetros necesarios, para a posteriori, poder comparar ambos registros.

A continuación, se describen los requisitos tanto funcionales, como no funcionales de la aplicación que se han recogido de las reuniones con los integrantes del equipo de investigación.

#### 4.1.1 Requisitos Funcionales

1) Permiso Micrófono:

Descripción: La aplicación, nada más instalarse, debe solicitar permiso al usuario para poder acceder al micrófono y así poder grabar los sonidos respiratorios nocturnos de los pacientes.

2) Permiso Almacenamiento:

- Descripción: La aplicación, nada más instalarse, debe solicitar permiso al usuario para poder escribir en la memoria interna de teléfono y así almacenar la grabación.
- 3) Permiso Cámara:  
Descripción: La aplicación, nada más instalarse, debe solicitar permiso al usuario para poder utilizar la cámara del móvil y así poder realizar la foto de la boca.
  - 4) Almacenar ID Paciente:  
Descripción: La aplicación debe guardar en los ajustes el identificador del paciente para facilitar el trabajo al técnico del hospital.
  - 5) Comprobar Espacio Disponible:  
Descripción: La aplicación debe comprobar, al abrir la pantalla de grabación, si el teléfono dispone de 100 MB para la recogida del sonido.
  - 6) Grabación Programada:  
Descripción: La aplicación debe avisar que la grabación nocturna es automática, es decir, que tiene inicio y fin programados para que coincida con la duración de los registros del polígrafo.
  - 7) Frecuencia Grabación:  
Descripción: La aplicación debe grabar a una frecuencia de 8 kHz.
  - 8) Canal Grabación:  
Descripción: La aplicación debe grabar en Mono (un único canal).
  - 9) Resolución Bits Grabación:  
Descripción: La aplicación debe grabar con una resolución de 16 bits, PCM.
  - 10) Recomendar Modo Avión:  
Descripción: La aplicación debe notificar al usuario 10 minutos antes del inicio de la grabación, que se le recomienda activar el modo avión para no interrumpir la grabación con llamadas. No es necesario activarlo, por lo que si el paciente está a la espera de una llamada urgente puede no poner el móvil en modo avión.
  - 11) Recordar Cargar Teléfono:  
Descripción: La aplicación debe notificar al usuario 10 minutos antes del inicio de la grabación, que debe poner a cargar el dispositivo móvil para que no se quede sin batería durante la grabación nocturna.
  - 12) Duración Grabación:  
Descripción: La aplicación debe grabar durante 7 horas, al igual que el polígrafo.
  - 13) Hora Inicio Grabación:  
Descripción: La aplicación debe empezar la grabación a las 23:30 del día de la instalación.
  - 14) Hora Fin Grabación:  
Descripción: La aplicación debe finalizar la grabación a las 6:30 del día siguiente al de la instalación.

15) Indicadores Estado Grabación:

*Descripción:* La aplicación debe contener indicadores para saber si está lista para grabar, si está grabando o ha finalizado sin tener que levantarse o moverse de la cama. El estado se cambiará automáticamente, antes, durante y al final de la grabación, respectivamente.

16) Mostrar Ruta Grabación:

*Descripción:* El sistema debe guardar en los ajustes de la aplicación el directorio en el cual se encuentra el registro, para ayudar al técnico del hospital a encontrarlo el día de la recogida del audio en el hospital.

17) Grabar con Pantalla Bloqueada:

*Descripción:* La aplicación deberá encargarse de seguir grabando inclusive si el dispositivo móvil se encuentra bloqueado durante la grabación.

18) Grabar en Segundo Plano:

*Descripción:* La aplicación deberá seguir grabando en segundo plano mientras el usuario utilice otras aplicaciones, siempre y cuando el usuario no cierre o detenga la aplicación por completo.

19) Bloquear Ajustes Durante Grabación:

*Descripción:* La aplicación bloqueará automáticamente el botón de los ajustes cuando inicie la grabación, para que ésta no se interrumpa. También lo activará automáticamente cuando termine de registrar el sonido.

20) Bloquear Cámara Durante Grabación:

*Descripción:* La aplicación bloqueará automáticamente el botón de la cámara cuando inicie la grabación, para que ésta no se interrumpa. También lo activará automáticamente cuando termine de registrar el sonido.

21) Realizar Foto de la Boca:

*Descripción:* La aplicación debe permitir al paciente realizar una foto de la boca para que pueda ser analizada en el hospital.

22) Almacenar Datos Biométricos del Paciente:

*Descripción:* La aplicación deberá pedir al paciente y almacenar sus datos biométricos para poder automatizar el proceso de recomendación de diagnóstico y que el médico no tenga necesidad de anotarlos.

23) Almacenar Datos del Móvil del Paciente:

*Descripción:* La aplicación debe pedir al paciente y almacenar los datos de su teléfono móvil (marca y modelo) para poder comparar la calidad entre los diferentes dispositivos.

## 4.1.2 Requisitos No Funcionales

1) Aplicación Android:

*Descripción:* La aplicación debe ser desarrollada para móviles con sistema operativo Android.

- 2) Mayoría de Dispositivos Android:  
*Descripción:* La aplicación debe ser soportada por el mayor número posible de versiones de Android.
- 3) Interfaz Simple:  
*Descripción:* La interfaz de la aplicación debe ser simple para que los pacientes que estén menos habituados a utilizar dispositivos móviles puedan usarla sin ningún tipo de problema y sin necesidad de ayuda de un tercero.
- 4) Fichero .wav:  
*Descripción:* La extensión del fichero de la grabación debe ser .wav.
- 5) Tamaño Fuente:  
*Descripción:* El tamaño de la fuente de la aplicación debe ser de al menos 14, para las personas que tengan algún tipo de alteración en la vista puedan utilizar la aplicación sin ningún impedimento.
- 6) Medio de Instalación:  
*Descripción:* La aplicación se descargará desde el programa Android Studio, instalado en el ordenador portátil establecido para el proyecto en el Hospital Fundación Alcorcón.
- 7) Aplicación y Polisomnografía:  
*Descripción:* La noche que se realice la grabación, también se recogerán los datos con la poligrafía domiciliaria nocturna para poder comparar ambos registros.
- 8) Colocación Teléfono Móvil:  
*Descripción:* Para realizar la grabación, colocar el teléfono lo más cerca posible de la cabeza, ya sea en una mesilla de noche o sobre un objeto cercano a la almohada que lo pueda sujetar y orientar el micrófono (parte inferior del móvil) hacia la boca.

## **4.2 Casos de Uso**

A partir de los requisitos recogidos, se han identificado los casos de uso que se muestran en la Ilustración 4-1. A través de este diagrama de casos de uso se muestra de forma gráfica la funcionalidad del sistema y como los demás usuarios (Paciente y Técnico del Hospital) interaccionan con ella para recoger los sonidos respiratorios nocturnos de los pacientes.



26

mediante el uso de un sistema de alarmas, y sin necesidad de que el paciente o el técnico del hospital interactúen con él. Es el que gestiona y almacena también toda la información en la memoria interna del móvil de paciente.

El Técnico del Hospital, que es el encargado de instalar la aplicación en el móvil de los pacientes, será el encargado de introducir y confirmar posteriormente el ID de Paciente la noche de la instalación de la aplicación.

El Paciente, deberá aceptar los permisos que le solicite la aplicación para poder usarla. En la pantalla de grabación podrá: acceder a los ajustes, para leer las instrucciones de uso o ver el ID de Paciente o la ruta de la carpeta de registro en la que se encuentra la grabación, la foto y los datos del paciente; acceder a la cámara para hacerse la foto de la boca para el Test de Mallampati; acceder al formulario en el cual deberá rellenar sus datos biométricos (género, edad, peso y altura) y las características principales del móvil (marca y modelo).

### ***4.3 Diseño de la Interfaz Gráfica***

Como preparatorio para el desarrollo de la aplicación, se han diseñado las maquetas que componen la interfaz gráfica de la aplicación. Estas maquetas se adjuntan en el Anexo E.

El objetivo principal de la interfaz gráfica es cumplir con el requisito no funcional 3, es decir, que la interfaz sea simple e intuitiva para que los pacientes puedan utilizar la aplicación Apneadiag sin necesidad de ayuda de otras personas. Por ello, se ha realizado una interfaz compuesta por pocas pantallas a través de la cual el usuario apenas necesita interacción con ella.

En caso de duda acerca del uso de la aplicación, los usuarios pueden acceder a una pantalla de Instrucciones de Uso que se encuentra en los Ajustes.

A continuación, se exponen las pantallas definitivas que componen la interfaz gráfica de la aplicación, explicando la funcionalidad de cada una de ellas:

- 1) **Pantalla de Carga de la Aplicación:** Esta pantalla es la que se muestra cada vez que se abre la aplicación, siempre y cuando ésta se hubiese cerrado o detenido anteriormente. Es una pantalla para informar al usuario que la aplicación se está preparando para abrirse.





**Ilustración 4-2: Pantalla de carga de la aplicación**

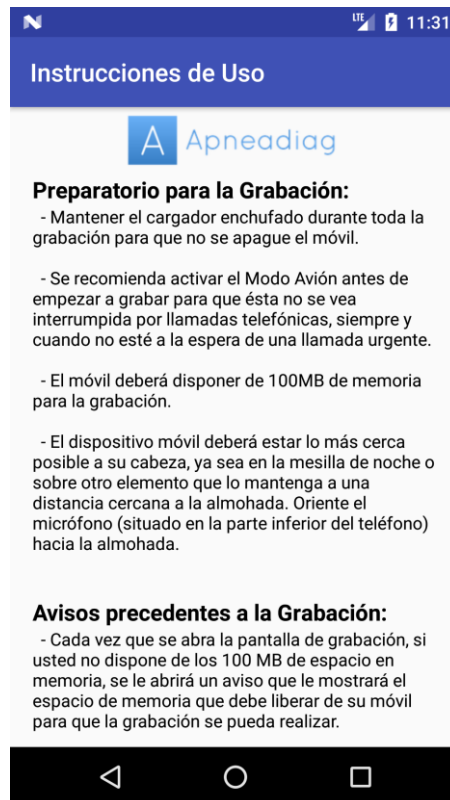
- 2) **Formulario de registro del Paciente:** Esta pantalla se abrirá cuando desaparezca la Pantalla de Carga de la Aplicación tras la descarga de la aplicación en el dispositivo móvil del paciente. En ella se observa un formulario con un solo campo que se debe rellenar: el ID del Paciente. El Técnico del Hospital debe rellenar dicho campo con el identificador único que se le ha asignado al paciente para el cual se está instalando la aplicación.

The screenshot shows the Apneadiag mobile application interface. At the top, there is a blue header bar with the text "Apneadiag". Below the header, the Apneadiag logo is displayed. The main screen features the text "Introduzca el ID del Paciente" (Enter the Patient ID). Below this text is a text input field with a red vertical bar on the left and the placeholder text "ID Paciente". Underneath the input field is a blue button with the text "CONFIRMAR". At the bottom of the screen, there are two logos: "Hospital Universitario Fundación Alcorcón" and "UAM UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID". The bottom of the screen shows the standard Android navigation bar with back, home, and recent apps buttons.

**Ilustración 4-3: Formulario de registro de ID de Paciente**

Una vez el Técnico rellene el campo con el ID de paciente, deberá pulsar el botón “CONFIRMAR”. Pulsando este botón se abrirá el siguiente cuadro de diálogo. El diálogo muestra el ID de Paciente que ha introducido el Técnico y que así pueda confirmar (botón SI) y pasar a la siguiente pantalla si lo ha introducido correctamente o cancelar (botón NO) y volver al formulario en caso de que el ID sea incorrecto para introducirlo de nuevo.

- 3) **Instrucciones de Uso:** Una vez introducido el ID de Paciente correctamente, se dirigirá al usuario a la pantalla en la cual podrá leer las Instrucciones de Uso de la aplicación.



**Ilustración 4-4: Instrucciones de Uso de la aplicación**

Tras leer todas las instrucciones, hay un botón de “ACEPTAR” para avanzar a la siguiente pantalla. No es necesario que el paciente lea las instrucciones en el momento de la instalación, ya que podrá acceder a ellas a través de los ajustes de la aplicación (Pantalla de Grabación).

- 4) **Pantalla de Grabación:** Esta pantalla está compuesta por tres elementos que indican en qué estado se halla la grabación. La grabación puede hallarse en tres estados: listo, grabando o finalizado. Desde esta pantalla se podrá acceder a los ajustes, a la cámara para realizar la foto de la boca o al formulario de los datos biométricos y del móvil del paciente, situados en la parte superior derecha de la pantalla. La foto se utilizará en el hospital para realizar el Test de Mallampati [56].

A continuación, se mostrará la pantalla en cada uno de sus tres estados:



**Ilustración 4-5: Estado Listo**

El primero de ellos es el estado Listo (Ilustración 4-5). La aplicación se encuentra en este estado desde la primera vez que se abre la pantalla de grabación, hasta el inicio de la grabación nocturna. 10 minutos antes del comienzo de la grabación, la aplicación enviará dos notificaciones al usuario: una primera que recomiende al paciente activar el modo avión para no interrumpirá la grabación, y una segunda para recordarle que es obligatorio que conecte el cargador al móvil para que no se agote la batería durante la noche. Como apunta la imagen la grabación comenzará automáticamente a las 23:40. A las 23:45, hora a la cual comienza el registro del polígrafo, el móvil emitirá un pitido que permitirá sincronizar ambos registros y así facilitar la comparación entre ambos.



**Ilustración 4-6: Estado Grabando**

Una vez empiece la grabación se pasará al estado Grabando, en el cual permanecerá hasta que finalice la grabación a las 6:50 de la mañana del día siguiente a la instalación. Mientras la aplicación se encuentre en el estado Grabando, los botones de ajustes, de la cámara y del formulario de datos del paciente se desactivarán hasta que la grabación termine. 5 minutos antes del fin de la grabación (a las 6:45, hora que finaliza el registro del polígrafo), el móvil emitirá otro pitido para indicar también el final de la sincronización.



**GRABACIÓN FINALIZADA**



**La grabación ha finalizado**



**Ilustración 4-7: Estado Finalizado**

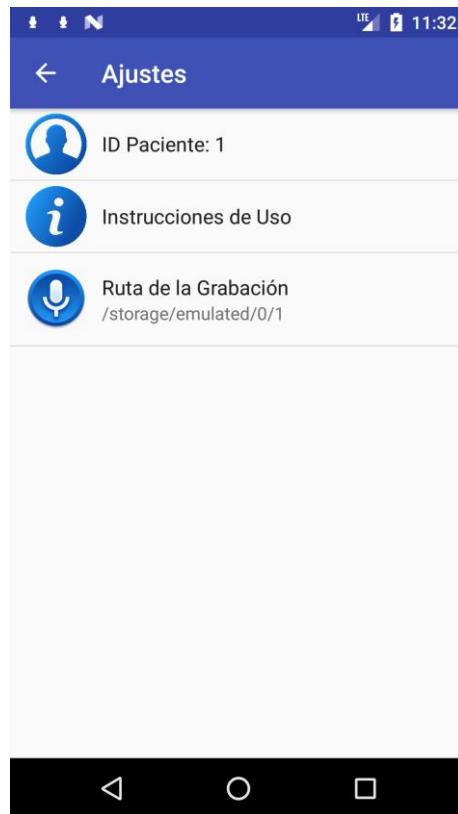
En este estado se entrará cuando la grabación finalice y no se saldrá de él hasta la desinstalación de la aplicación del móvil. En este estado se podrá acceder de nuevo a los ajustes, la cámara y el formulario de datos biométricos.

- 5) **Ajustes:** Para acceder a la pantalla de ajustes hay que pulsar en el botón de la Ilustración 4-8 en la pantalla de Grabación.



**Ilustración 4-8: Icono de Acceso a los Ajustes**

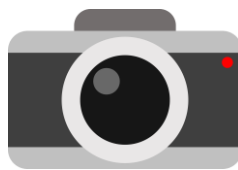
En ella se pueden observar tres opciones:



**Ilustración 4-9: Ajustes de la aplicación**

La primera opción muestra el ID del Paciente introducido por el Técnico en el formulario de registro de paciente. La segunda son las instrucciones de uso de la aplicación. La tercera es la Ruta de Grabación a la carpeta que contiene todos los ficheros (grabación, foto y documento con datos biométricos) el dispositivo móvil. En caso de que todavía no se haya creado la carpeta, mostrará el mensaje “Carpeta Inexistente”.

- 6) **Cámara:** Para acceder a la cámara del móvil y poder hacer la foto de la boca para el test de Mallampati, es necesario pulsar sobre el icono de la cámara que se encuentra en la parte superior derecha de la Pantalla de Grabación (Ilustración 4-10).



**Ilustración 4-10: Icono de Acceso a la Cámara del Móvil**

La foto se guardará en la misma carpeta que en la de la grabación, es decir, en una carpeta con nombre el ID de Paciente en la memoria externa del teléfono.

- 7) **Formulario de Datos:** Para acceder al formulario habrá que pulsar sobre el icono de la Ilustración 4-11, situado en la parte superior derecha de la Pantalla de Grabación.



**Ilustración 4-11: Icono Acceso Formulario de Datos del Paciente**

En el formulario, el paciente deberá rellenar sus datos biométricos (género, edad, peso y altura) y la marca y el modelo del teléfono para facilitar la automatización del diagnóstico de apnea del sueño.

Una captura de pantalla de un formulario móvil. La barra superior es azul con un icono de retroceso y el texto "Datos Paciente". Debajo está el logo "Apneadiag" (una 'A' azul en un cuadrado azul). El texto "Introduzca los siguientes datos:" precede a los campos: "Genero:" con botones de radio para "Hombre" y "Mujer"; "Edad:" con un campo de texto; "Peso (Kg):" con un campo de texto; "Altura (cm):" con un campo de texto; "Marca del Movil:" con un campo de texto; y "Modelo del Movil:" con un campo de texto. Un botón azul "CONFIRMAR" está centrado. En la parte inferior hay logos de "Hospital Universitario Fundación Alcorcón" y "UAM Universidad Autónoma de Madrid". La barra de navegación del Android está en la base.

**Ilustración 4-12: Formulario de Datos del Paciente**

## 5 Desarrollo

---

### ***5.1 Herramientas y Tecnologías Utilizadas en el Proyecto***

En este apartado se explican y detallan todas las herramientas y tecnologías utilizadas a la hora de diseñar y desarrollar la aplicación, analizar y comparar las grabaciones y gestionar las referencias.



### 5.1.1 Maquetas y Diagramas

Para realizar las maquetas y los diagramas de la aplicación se han utilizado las herramientas Moqups [57] y PowerPoint [58].

Moqups es un programa online sencillo de usar y con gran variedad de elementos para poder diseñar las maquetas de las pantallas de la aplicación. Las maquetas resultantes se encuentran en el Anexo E.

En cambio, PowerPoint se ha usado para diseñar los diagramas de flujo del proyecto y el diagrama de casos de uso de la aplicación.

### 5.1.2 Imágenes y Elementos de la Aplicación

En cuanto a las imágenes, se han buscado a través de la herramienta de Google, Búsqueda avanzada de imágenes [59], ya que permite realizar búsquedas filtradas de imágenes. Para el proyecto se ha usado un filtro para encontrar imágenes cuyo uso no requiera licencias.

Como complemento a la Búsqueda avanzada de Google, se han utilizado tres herramientas de edición de imágenes: Online Image Editor [60], BeFunky [61] y Gimp [62]. Online Image Editor se ha utilizado para hacer redondos los bordes del icono principal de la aplicación (Ilustración 5-1). Gimp se ha usado para cambiar los colores de los iconos de la pantalla de grabación y los de los ajustes para que todos estuviesen en la misma escala de colores. El resto de ediciones se han realizado con la herramienta BeFunky.



**Ilustración 5-1: Icono de la Aplicación Apneadiag**

Para obtener el logo de la aplicación (Ilustración 5-2), se ha utilizado una herramienta online de generación de logos automática Logaster [63].



**Ilustración 5-2: Logo de la Aplicación Apneadiag**

Para crear los botones e indicadores de estado de la pantalla de grabación, se ha utilizado la aplicación web Da Button Factory [64].

### 5.1.3 Entorno de Desarrollo

Para el desarrollo de la aplicación se ha utilizado el entorno Android Studio [50], IDE (Entorno de Desarrollo Integrado, *Integrated Development Enviroment*) oficial de Android. Se ha elegido este entorno de desarrollo para cumplir con el requisito no funcional 1 de la aplicación: “*La aplicación debe ser desarrollada para móviles con sistema operativo Android*”.

### 5.1.4 Análisis de Audios

Para poder identificar el tiempo que el paciente duerme durante el registro, las apneas, los ronquidos y exportar el registro de audio de la poligrafía se ha utilizado la herramienta Noxturnal [51]. Ésta se utiliza por los médicos del Hospital Fundación de Alcorcón para programar el polígrafo y recoger y analizar sus registros (pulso, ronquidos, movimiento, saturación de oxígeno, etc.).

Para analizar los audios se ha utilizado la herramienta Audacity [54]. Audacity se ha utilizado para comparar ambos registros y sus eventos característicos a nivel de amplitud y de frecuencia. En ella se han podido comprobar si los parámetros de grabación eran correctos. En caso de que no lo fuesen la herramienta permitía editarlos. En cambio, Jupyter Notebook, se ha utilizado para analizar la relación señal/ruido de las grabaciones utilizando el lenguaje de programación Python 3 [55].

### 5.1.5 Gestión de Referencias

Para la gestión de referencias del proyecto se ha utilizado Mendeley [65]. Es una herramienta que permite gestionar los artículos de forma dinámica a través de Internet y agregar las referencias automáticamente en la memoria con su plug-in para Word.

## 5.2 Sistema de Alarmas

Para que la aplicación realice automáticamente y que el paciente no tenga que estar al tanto de pulsar botones durante el proceso de registro, es muy importante usar un sistema de alarmas interno de la aplicación.

El sistema cuenta con seis alarmas:

- La primera alarma está programada a las 23:30. Ésta, enviará una notificación al usuario recomendándole que active el Modo Avión del teléfono para que ninguna llamada interrumpa la grabación.
- La segunda está programada también para las 23:30. Su función es enviar una notificación al usuario para que conecte obligatoriamente el cargador al móvil y así no se agote la batería durante la noche.
- La tercera está programada para las 23:40. Ésta deberá comenzar la grabación nocturna de los sonidos respiratorios del paciente.

- La cuarta está programada para las 23:45. A esta hora comienza el registro de la poligrafía, por lo que el móvil emitirá un sonido para saber dónde empezar la posterior comparación de ambos registros.
- La quinta está programada para las 6:45. El móvil emitirá otro sonido para saber dónde finalizar la comparación de los registros, ya que el registro de la poligrafía termina a esta hora.
- La última está programada para las 6:50 del día siguiente. Su función será detener la grabación.

Los horarios se han escogido siguiendo el programa de grabación de los dispositivos T3 de Noxturnal que se utilizan en la poligrafía domiciliaria.

## 6 Pruebas y resultados

Antes de empezar a recoger grabaciones de voluntarios en el hospital, se realizaron varias pruebas en distintos tipos de teléfonos móviles para comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación. Tras analizar el resultado de las pruebas iniciales, se observó que las grabaciones eran satisfactorias en cuanto a la temporalización, frecuencia de muestreo establecida, escritura en el dispositivo, etc., así como en la recogida de datos biométrico, por lo que se comenzó a reclutar voluntarios para analizar todos sus audios en profundidad y comprobar si la aplicación podría servir para recomendar el diagnóstico de apnea del sueño.

### 6.1 Análisis de Grabaciones

#### 6.1.1 Datos Recogidos

Para la recopilación de las grabaciones con la aplicación y con la poligrafía domiciliaria se ha contado con 8 voluntarios. En la siguiente Tabla 6-1 se muestran los datos de los pacientes:

ID Paciente	Sexo	Edad	Peso	Talla	IMC	Teléfono	AHI
1000	Hombre	21	62	179	19,4	BQ M5	3,4
1001	Mujer	46	74	153	31,6	Samsung	9,2
1003	Hombre	72	99	183	29,6	Huawei	19,2
1005	Mujer	56	81	170	28	Samsung J4	10,5
1006	Mujer	62	84	153	35	VDF 700	21,7
1007	Mujer	65	65	155	27	Samsung Galaxy J3	26,2
1008	Hombre	48	65,4	155	27	Huawei P9	29,3
1010	Mujer	50	55	161	21,22	Samsung Galaxy GR	2,5

Tabla 6-1: Datos Recogidos de los Pacientes

En la Tabla 6-1 se puede observar que hay algunos ID de Paciente que no se han incluido. Esto se debe, o bien a que los pacientes no desearon participar en el proyecto, o bien porque los audios que se grabaron eran defectuosos o incompletos. Para hacer estas comprobaciones, y ver que las grabaciones eran satisfactorias se utilizó la herramienta Audacity. En primer lugar, se verificó que la duración de los registros era correcta, para después, escuchando las grabaciones, comprobar si la calidad del sonido era la adecuada.

Una vez seleccionadas las grabaciones realizadas con los móviles, es necesario analizarlas en detalle y compararlas individualmente con el registro del polígrafo correspondiente. Primero se va a realizar una comparación de la calidad de las grabaciones utilizando una medida de la relación señal/ruido. Posteriormente, se analizarán por niveles de severidad de apnea según el AHI (Tabla 2-1). Los niveles de apnea de los registros se recogen en la última columna (AHI) de la Tabla 6-1. El color verde indica un paciente Sano, el color amarillo indica un nivel de SAHS Leve, mientras que el color naranja indica un nivel de SAHS Moderado. En los pacientes que han participado en el proyecto hasta el momento no se ha identificado ninguno con nivel de SAHS Severo.

Ya que los análisis se van a realizar por severidad, se ha escogido un paciente de cada nivel: el 1010 para nivel Sano, el 1005 para nivel Leve y el 1008 para nivel Moderado.

Antes de empezar a analizar los registros en profundidad, lo primero que se hizo fue sincronizar las señales del móvil y del polígrafo por cada paciente. Para ello se utilizaron las herramientas Noxturnal y Audacity. Primero, se cargaban los registros del polígrafo en el Noxturnal. Esta herramienta muestra al usuario el tiempo de sueño del paciente. Ya que ese fragmento de señal es el que se quiere analizar, se recortó ignorando el resto.

A continuación, se abrían dos ventanas de Audacity, cada una con una grabación. En cada una de ellas se comprobó que los parámetros de grabación fuesen los correctos: 8kHz de frecuencia de grabación, canal Mono y la resolución de bits 16 bits PCM. Las grabaciones del polígrafo cumplían todas con la frecuencia de grabación y el canal, pero no con la resolución de bits. Por ello, era necesario el cambio de resolución haciendo clic sobre el título de la grabación y, una vez en el menú, acceder a “Formato” para cambiarlo a 16 bits PCM. En cambio, las grabaciones del móvil no respetaban en ocasiones la frecuencia de grabación especificada en el programa. Para cambiarlas, se utilizó la herramienta “Remuestrear” de Audacity.

Una vez uniformizados ambos registros con los mismos parámetros de grabación, fue necesario sincronizar ambas señales. Lo que se hizo fue anotar el tiempo en el que se producía un evento que se identificase claramente en ambos registros, móvil y polígrafo. De ahí, se obtuvo la diferencia de tiempo para poder recortar del audio de la aplicación el fragmento de señal que se quería analizar.

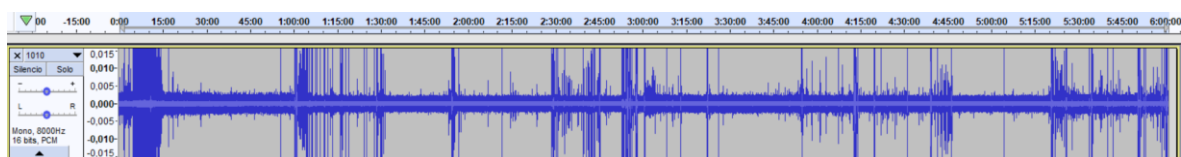
Teniendo ambos registros de la misma longitud, sincronizados y con los mismos parámetros de grabación, se podía pasar a su análisis.

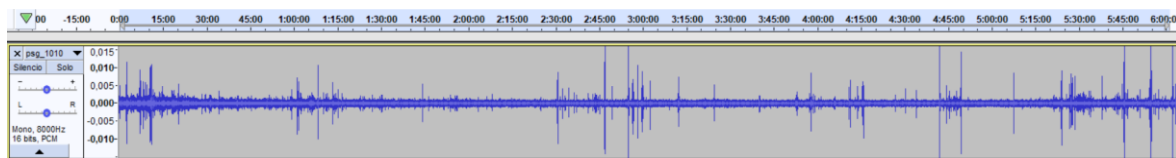
### 6.1.2 Relación Señal/Ruido

Antes de entrar en el detalle de cada uno de los registros hay que hacer un análisis global de la calidad de sonido de las grabaciones. Por ello se va a realizar por grado de severidad un análisis a través de la relación señal/ruido. Para analizar esta relación se realizó un análisis de espectro y se escucharon los registros.

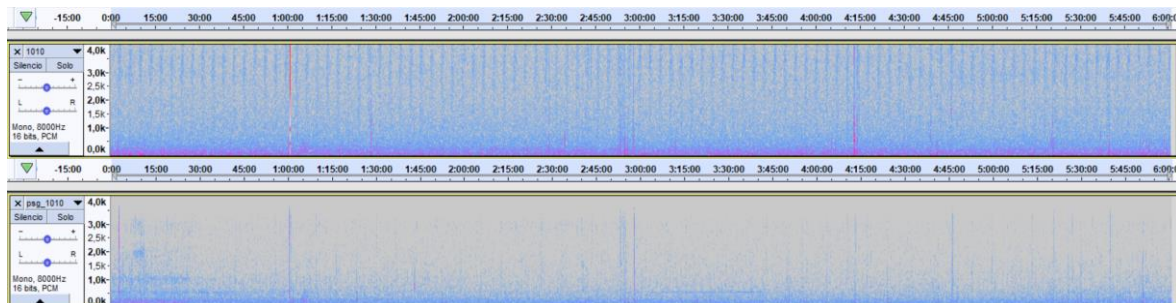
#### **Paciente Sano: 1010**

A continuación, se muestran las señales y los espectrogramas de los registros del polígrafo (señal superior) y del móvil (señal inferior). Se especificó la misma escala en los dos registros para permitir la comparación de la calidad del audio con la misma amplitud.





**Ilustración 6-1: Señales Completas Paciente Sano**



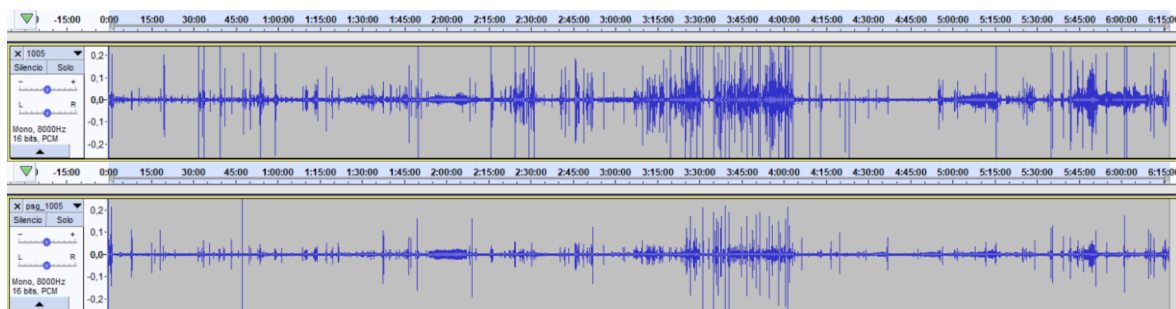
**Ilustración 6-2: Espectrogramas Completos Paciente Sano**

Analizando estas frecuencias a simple vista se puede decir que son muy bajas. Esto puede tener sentido, ya que, siendo un paciente sano, su porcentaje de ronquidos durante la noche fue del 0.2% en 6:07 horas.

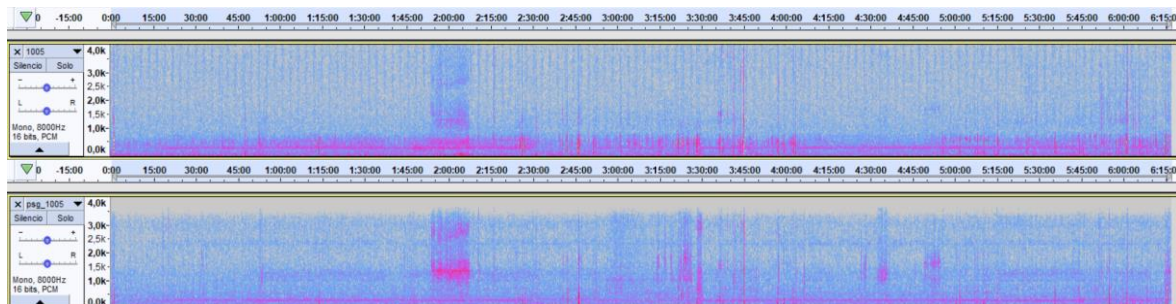
Escuchando ambos registros, se puede apreciar que el registro del polígrafo registra más ruido. En este caso el móvil era un Samsung Galaxy GR.

### **Paciente Leve: 1005**

Tras cargar ambos registros sincronizados, se comprobó que la escala de amplitud normalizada entre -1 y 1 tampoco era suficiente como para apreciar eventos significativos. Por ello, se amplió de nuevo la escala en un valor común a ambas señales.



**Ilustración 6-3: Señales Completas Paciente Leve**



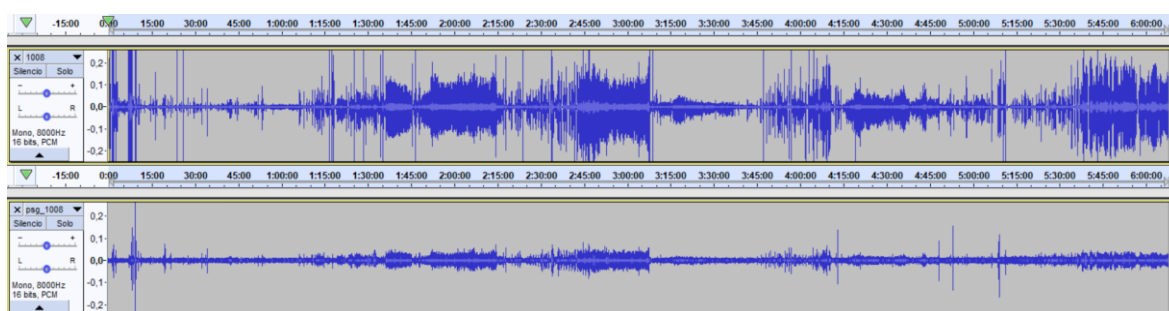


#### **Ilustración 6-4: Espectrogramas Completos Paciente Leve**

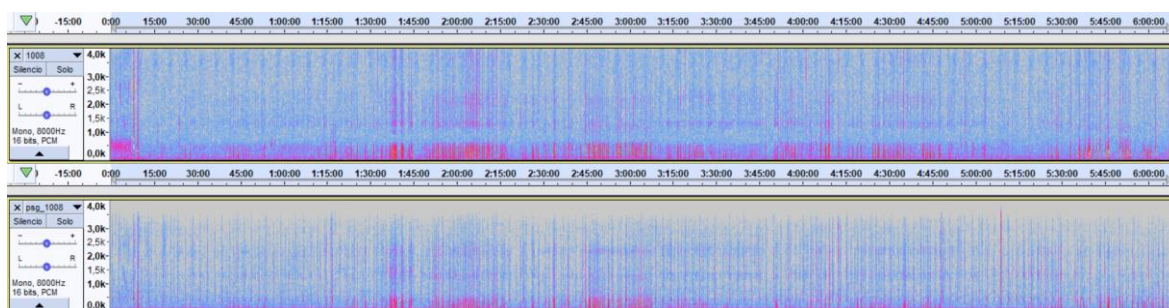
En este caso, el paciente, al ser de nivel Leve, sí que roncó durante el registro nocturno. Sus ronquidos ocuparon el 6% del tiempo de registro (6:23 horas). Por esta razón aparecen frecuencias más bajas y con decibelios más altos. Esto puede deberse, no solo a los ronquidos o a los eventos respiratorios, también a sucesos externos a la prueba.

#### **Paciente Severo: 1008**

Para el paciente 1008 también se tuvo que ampliar la escala de amplitud normalizada a 2.5, como en el caso anterior. En este caso ya tenemos una señal con un número mucho mayor de eventos, que pueden ser o no característicos y significativos, debido al nivel de apnea del paciente que está en estudio (Severo).



**Ilustración 6-5: Señales Completas Paciente Severo**



**Ilustración 6-6: Espectrogramas Completos Paciente Severo**

En el espectro de ambas señales se puede apreciar un sonido rítmico que se produce cada segundo. Si escuchamos los audios, se percibe que es un reloj, que posiblemente estuviese situado en la mesilla de noche, ya que en el audio del móvil el ruido es más fuerte.

#### **Conclusiones generales**

Viendo los espectrogramas se observa que la calidad del móvil es peor y que la señal es más débil. Esto se debe a que el polígrafo registra sonidos desde una distancia a la boca mucho más corta que la del móvil. Esto no quita que la señal del teléfono pueda utilizarse para los objetivos planteados en este proyecto, ya que como se puede ver en los espectrogramas (en los del siguiente apartado también) la estructura de los eventos significativos se mantiene en ambos registros y las frecuencias principales al comparar los

registros de cada paciente se mantienen y son muy similares. Analizando las frecuencias de los teléfonos se percibe que éstas están siempre por debajo de los 4000 Hz, siendo su máximo aproximadamente 3500 Hz.

### 6.1.3 Análisis de Ronquidos y Apneas

Una vez se ha analizado la relación señal/ruido de cada registro, es necesario analizar los eventos, ronquidos y apneas, de cada uno de ellos. Para ello, lo primero que hay que hacer es amplificar la señal utilizando Audacity [66]. En este caso amplificamos las señales en 15 dB. Esto permite observar de manera más clara los eventos que se producen durante el sueño.

Las apneas es más complicado detectarlas observando la señal o escuchando la grabación ya que puede haber momentos de silencio en los que el paciente no ronca, pero que no sean apneas. Por esta razón se utiliza el software Noxturnal. Éste identifica y remarca a lo largo de las grabaciones, en la señal *Airflow*, todas las apneas.

#### Pacientes Sanos

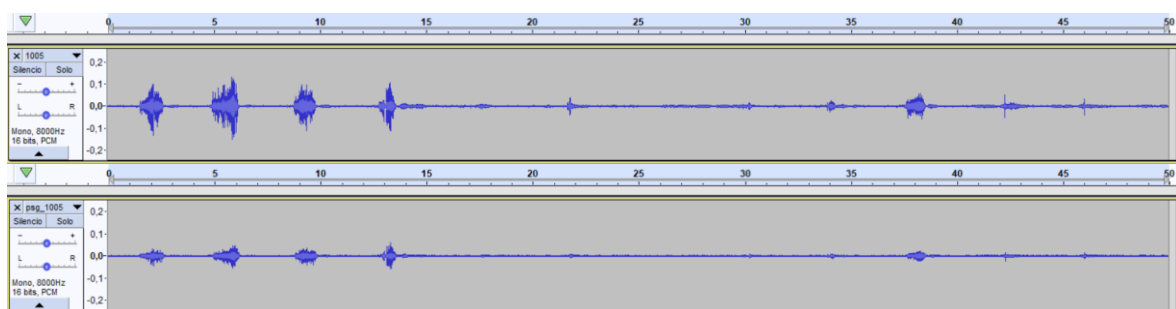
Para los pacientes sanos no fue posible identificar a través del Noxturnal ningún ronquido debido al bajo porcentaje de ronquido de ambos pacientes.

Como se mencionó, se intentaron analizar los eventos del paciente 1010. Pero en este caso, no se detectó ningún evento significativo (ronquido o apnea) debido a que el porcentaje de ronquidos de la noche de registro fue del 0.2% en 6:07 horas y el número de apneas obstructivas 0. Al intentar eventos identificar eventos en el otro paciente sano (1000), tampoco se detectó ningún ronquido ni ninguna apnea, ya que su porcentaje de ronquidos fue del 0% en 5:52 horas y el número de apneas obstructivas 0.

#### Paciente Leve: 1005

En este caso se detectaron varios ronquidos y apneas. El paciente 1005 roncó el 6% de su registro, es decir, un total de 6:23 horas, mientras que se produjeron 1,1 apneas obstructivas por hora de registro.

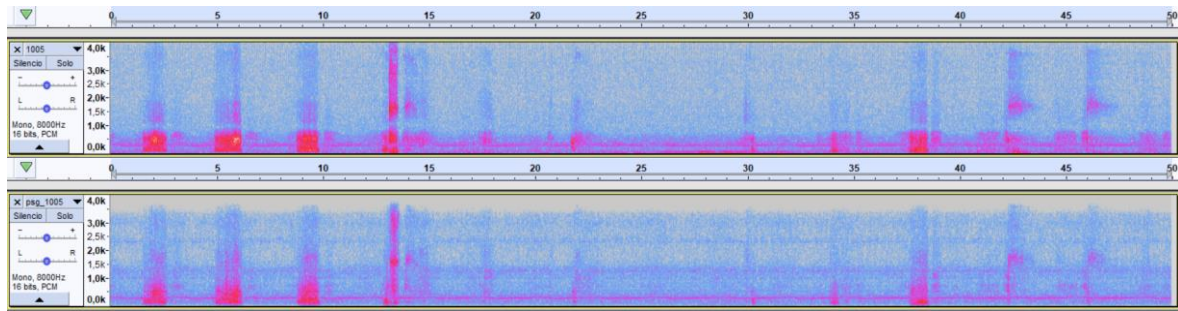
En cuanto respecta a los ronquidos, a continuación se muestra un fragmento de 50 segundos con comienzo a las 5:56:40 de la mañana, en el cual se pueden observar claramente 5 ronquidos. Entre los primeros cuatro y el quinto y tras éste último se producen una serie de respiraciones profundas o de sonidos respiratorios sin relevancia.



**Ilustración 6-7: Señales Ronquidos Paciente Leve**

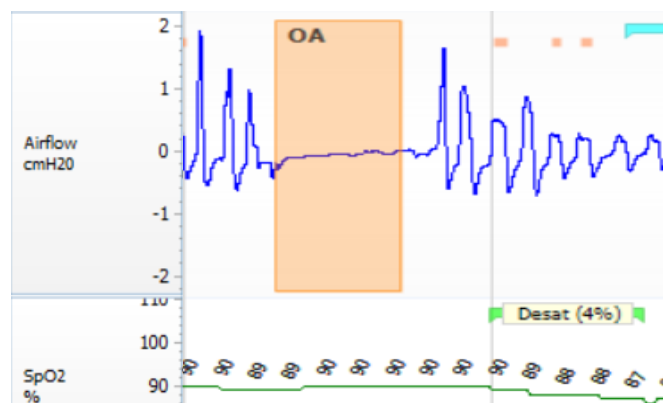


En el espectro se identifican todavía mejor los 5 ronquidos y se diferencian aún más de los eventos que no tienen transcendencia en el análisis.



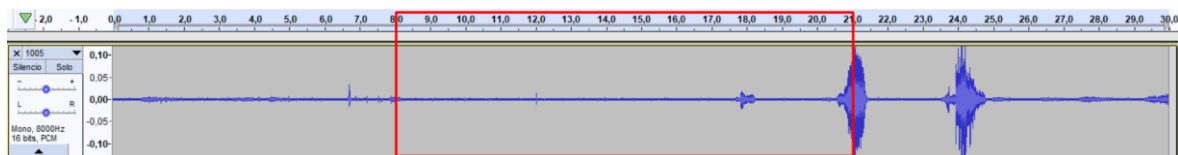
**Ilustración 6-8: Espectrogramas Ronquidos Paciente Leve**

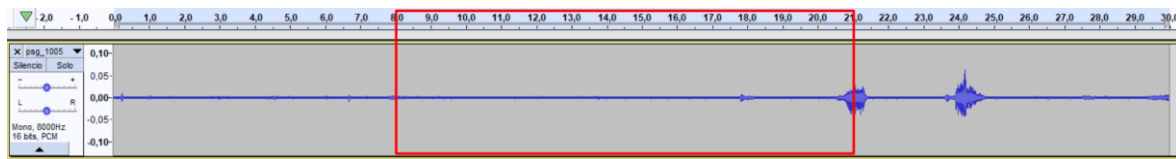
Una vez se ha comprobado que los ronquidos también se pueden identificar en pacientes con nivel Leve de AHI, es necesario investigar acerca del otro evento significativo de nuestro análisis, las apneas. Para ello, es necesario utilizar la herramienta Noxturnal. Como se ha explicado anteriormente, para localizar las apneas es necesario examinar la señal del flujo del aire (*Airflow*), Ilustración 6-9, ya que el Noxturnal las identifica automáticamente. En este caso, se ha seleccionado la apnea que se muestra a continuación. Comienza a las 3:21:30 de la mañana y tiene una duración de 13 segundos.



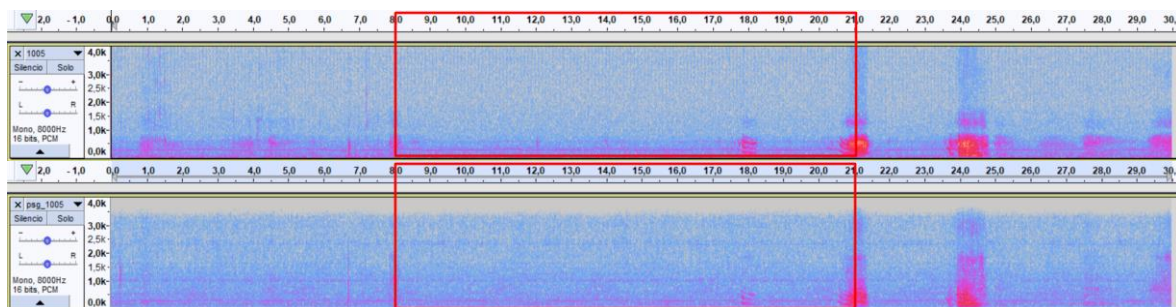
**Ilustración 6-9: Apnea Noxturnal Paciente Leve**

El siguiente paso es importar y hallar la apnea seleccionada en el Audacity, tanto para la señal de audio del polígrafo, como para la del móvil. Como se expone en la Ilustración 6-10, se ha conseguido localizar la apnea que se había seleccionado en Noxturnal. Escuchando el audio, y observando la Ilustración 6-9 del Noxturnal, es posible que se pueda alargar la apnea aproximadamente 2 segundos más. El evento que se está produciendo cuando se marca el fin de la apnea, es una respiración de tono elevado, debido al colapso de la vía aérea, pero que no altera el flujo de aire.





**Ilustración 6-10: Señales Apnea Paciente Leve**



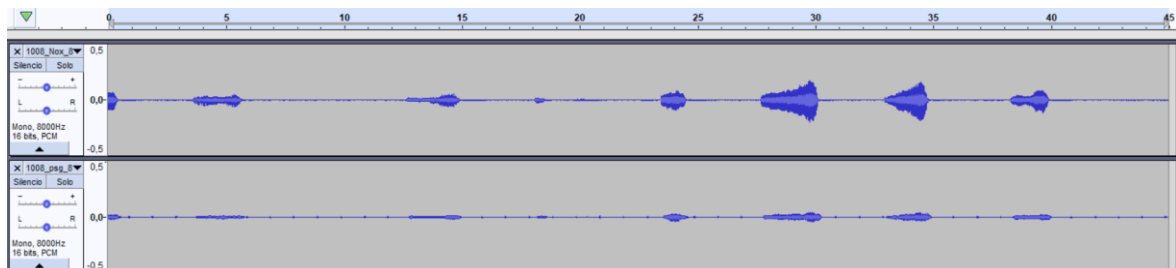
**Ilustración 6-11: Espectrograma Apnea Paciente Leve**

### **Paciente Moderado: 1008**

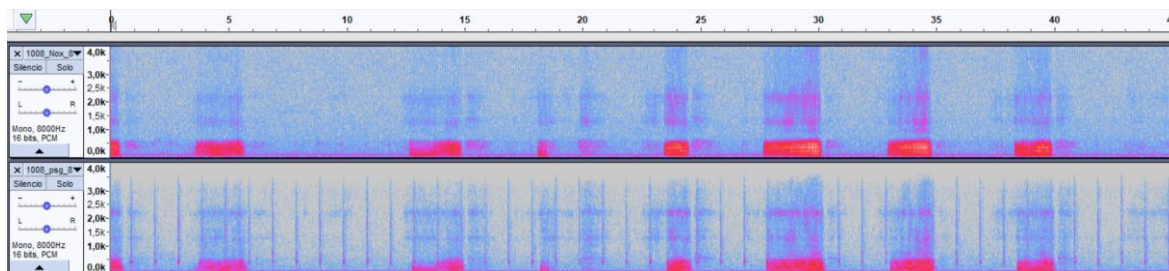
Al ser un paciente con nivel de AHI moderado (29,4), casi severo, su porcentaje de ronquidos crece considerablemente con respecto a los otros pacientes. El paciente 1008 roncó el 47,9% del tiempo de sueño (6:12 horas). También durante la noche se registraron 14,5 apneas obstructivas por hora.

A continuación, se muestra un segmento de 45 segundos del registro, cuyo comienzo fue a las 2:59:30 de la noche. De estos 45 segundos se obtienen 6 ronquidos (sin contar el final del ronquido con el cual comienza el audio), y entre el segundo y tercer ronquido se aprecia una respiración fuerte. Estos se pueden identificar claramente en ambos registros.

En el registro del móvil, si nos fijamos en el espectro, se aprecia cada segundo un sonido rítmico. Escuchando el audio, esto se produce por el sonido que emite un reloj cada segundo. El reloj estaría situado en la misma mesilla de noche que el móvil y por ello lo detecta y se aprecia tan claramente. En cambio, en el espectro del polígrafo ese sonido rítmico no se aprecia apenas, ya que el polígrafo estaba más alejado del reloj.

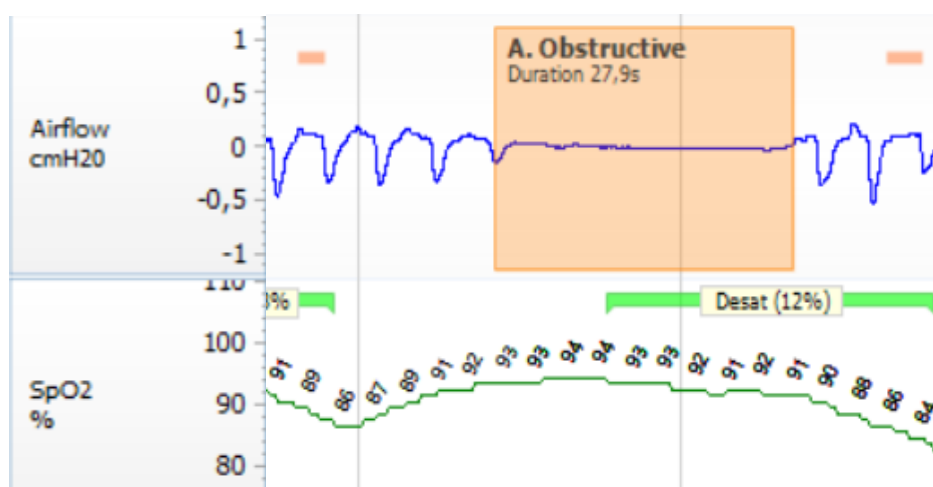


**Ilustración 6-12: Señales Ronquidos Paciente Severo**



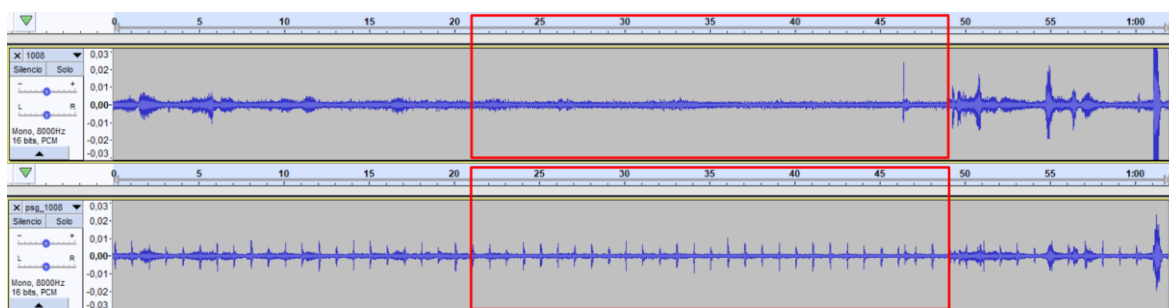
**Ilustración 6-13: Espectrogramas Ronquidos Paciente Severo**

Tras ver que los ronquidos son perfectamente identificables a través del móvil, es importante también poder distinguir las apneas. En este caso, como para el nivel anterior, es necesario utilizar la herramienta Noxturnal. En este caso se selecciona una apnea de larga duración: 27,94 segundos y se produjo a la 1:30:45 horas de la mañana.

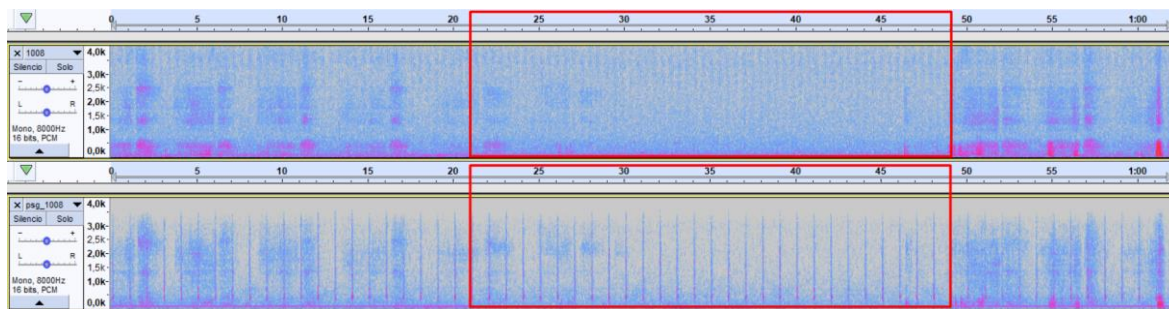


**Ilustración 6-14: Apnea Noxturnal Paciente Severo**

Una vez seleccionada la apnea deseada en Noxturnal, es necesario proyectarla sobre Audacity para compararla e identificarla en la onda de la grabación del móvil. Como se comprueba a continuación la apnea es perfectamente identificable debido a la falta de flujo de aire. Ésta es más reconocible en la grabación de la polisomnografía (señal superior), tanto en la señal como en el espectro, que en la del móvil, debido a que, de nuevo, se registra ese sonido rítmico del reloj situado en la mesilla del paciente.



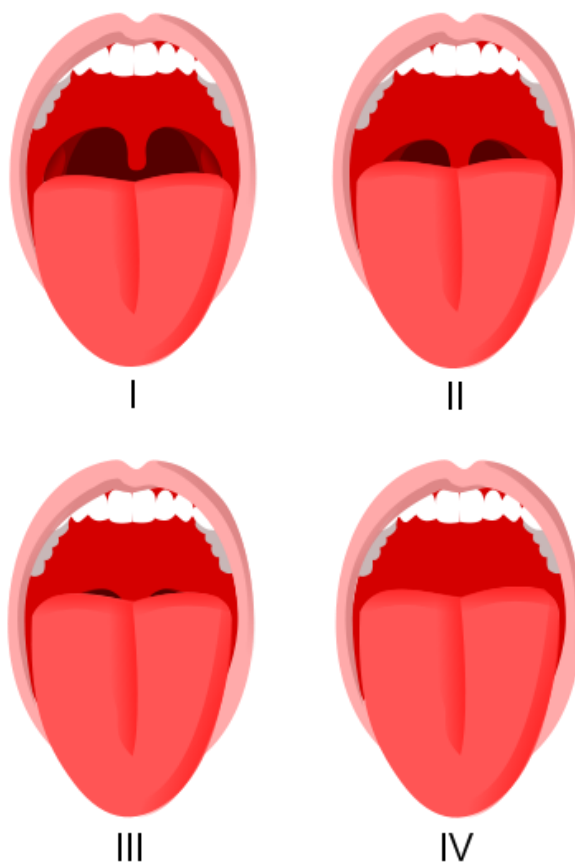
**Ilustración 6-15: Señales Apnea Paciente Severo**



**Ilustración 6-16: Espectrogramas Apnea Paciente Severo**

## **6.2 Test de Mallampati**

La exploración anatómica de la vía aérea superior (VAS) es muy importante en caso de que se estén explorando pacientes con sospechas de SAHS [67]. Existen diversas formas para el análisis anatómico de la VAS. Una de ellas es el Test de Mallampati o la Clasificación de Mallampati. Es un prueba predictiva para la evaluación de la vía aérea [68]. Para la clasificación se valora la visualización de estructuras anatómicas faríngeas de la vía aérea con el paciente en posición sentada y con la boca completamente abierta y sin generar ningún sonido [68]. De este modo se clasifica la vía aérea en 4 clases:



### **Ilustración 6-17: Escala de Mallampati<sup>4</sup>**

Como ya se ha mencionado anteriormente, la aplicación cuenta con una nueva funcionalidad: el uso de la cámara de fotos para poder realizar el Test de Mallampati.

Esta prueba se ha realizado con un paciente, el 1000. La foto resultante es la siguiente:



**Ilustración 6-18: Test de Mallampati Paciente**

Si comparamos esta imagen con los niveles de la clasificación asociaríamos al paciente con la Clase II, en la cual se ve el paladar duro y blando, la porción superior de las amígdalas y parte de la úvula. La clasificación sería coherente si observamos también el AHI de la poligrafía domiciliaria nocturna dado que es un paciente clasificado como Sano.

## **7 Conclusiones y trabajo futuro**

---

### **7.1 Conclusiones**

En el presente Trabajo de Fin de Máster se ha planteado un proceso de análisis de los eventos respiratorios nocturnos durante el sueño, ya sean apneas o ronquidos, registrados a través de una aplicación móvil, Apneadiag, con el objetivo fundamental de conseguir una recomendación de diagnóstico de apnea del sueño.

Para poder analizar las grabaciones de la aplicación y ver si ese objetivo era viable, éstas se han registrado la misma noche en la que el paciente realizaba la prueba diagnóstica

---

<sup>4</sup> Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Escala\\_de\\_Mallampati](https://es.wikipedia.org/wiki/Escala_de_Mallampati)

domiciliaria, la poligrafía domiciliaria nocturna. Según las comparaciones realizadas, se ha visto que los registros de ambos dispositivos son bastante similares, por lo que a priori si sería posible llegar a recomendar un diagnóstico de SAHS siempre que los algoritmos de clasificación permitan hacerlo a partir del sonido y el resto de la información. La calidad del sonido en la grabación de los móviles es algo inferior, debido a su localización en la mesilla de noche frente a la localización en el pecho del micrófono del polígrafo.

También se introdujeron en la aplicación Apneadiag las funcionalidades recogidas en los nuevos requisitos: sincronización de registro del polígrafo y el móvil; acceder a la cámara para poder realizar la foto de la boca y recoger los datos biométricos del paciente y la marca y el modelo de su teléfono móvil. Estas nuevas funcionalidades serán de gran utilidad y ayudarán con el análisis de los datos a corto plazo.

Al principio del proyecto se propusieron diversos objetivos, los cuales se han alcanzado satisfactoriamente. A continuación, se analiza cada uno de ellos:

*“Desarrollo de la aplicación Apneadiag:*

- *Incluir formulario de datos biométricos y del móvil del paciente. Los datos introducidos se deben almacenar en un fichero en la misma carpeta que la grabación.*
- *Poder acceder a la cámara desde la aplicación para que el paciente se pueda hacer una foto de la boca. La foto se debe almacenar en la misma carpeta que la grabación y el fichero de datos.*
- *El móvil debe emitir dos sonidos durante la grabación para que se sincronice con el registro del polígrafo: uno a la hora del comienzo y otro a la hora de fin del registro con el polígrafo.”*

Se ha incluido un formulario al cual se accede a través de la pantalla principal de grabación de la aplicación, en el cual el paciente deberá introducir su género, edad, peso, talla, marca del móvil y el modelo del móvil. Cuando el usuario complete el formulario, la aplicación guardará los datos en un fichero en la misma ruta que la grabación (carpeta en la memoria interna del teléfono con nombre el ID de Paciente correspondiente).

También desde la pantalla de grabación de la aplicación, se puede acceder a la cámara para que el paciente se haga la foto a la boca. La imagen se almacenará en la misma carpeta que la grabación y que el fichero con los datos del paciente.

En cuanto a la sincronización, se han introducido dos nuevas alarmas automáticas internas del teléfono para poder saber cuándo empieza y cuando acaba el registro de la poligrafía. Por ello se ha adelantado el inicio y retrasado el fin de la grabación con los móviles 5 minutos cada uno.

*“Registrar los sonidos respiratorios nocturnos de los voluntarios la misma noche, tanto con la aplicación, como con la poligrafía domiciliaria nocturna.”*

Se han conseguido 8 voluntarios (5 mujeres y 3 hombres) que realicen la prueba diagnóstica domiciliaria a la par que el registro con la aplicación para su posterior análisis.

*“Sincronizar ambos registros, ya que los sonidos de sincronización que emite el móvil se introdujeron en la aplicación después de haber obtenido las grabaciones.”*



Utilizando la herramienta Noxturnal se ha conseguido, en primer lugar, obtener el tiempo de sueño de los pacientes. A partir de ese tiempo de sueño se pudieron obtener los fragmentos de señales de ambos registros para poder sincronizarlos fácilmente utilizando la herramienta Audacity.

*“Realizar diferentes comparaciones entre ambos registros:*

- *Obtener gráficamente una medida que permita comparar la calidad de ambos registros a través de una relación señal/ruido.*
- *Comparar ronquidos de ambos registros para los diferentes niveles de severidad de apnea.*
- *Comparar apneas de ambos registros para los diferentes niveles de severidad de apnea.”*

En primer lugar, se realizó una comparación señal/ruido de ambos registros. Del análisis se concluye que se obtuvieron diferentes calidades de sonido en las grabaciones de audio con el teléfono móvil. En la mayor parte de los casos, la calidad del sonido (tanto global como de eventos específicos como ronquidos y apneas) parece adecuada para utilizarla en un sistema que clasifique las distintas opciones de una recomendación de diagnóstico a partir de la información del sonido y del resto de datos recogidos por la aplicación. Hay que tener en cuenta que la calidad de los micrófonos de los teléfonos móviles mejora con cada generación, lo que abrirá nuevas posibilidades de uso en aplicaciones como la desarrollada en este proyecto.

## **7.2 Trabajo Futuro**

Tras varios registros de prueba para refinar los algoritmos y utilizando como punto de partida el Trabajo de Fin de Máster, el objetivo a prioritario sería desarrollar una versión final de la aplicación Apneadiag, para que una vez haya grabado, el registro se envíe desde el móvil vía Wifi a un servidor del equipo de investigación. En el servidor, las grabaciones se estructurarían en una base datos y se introducirían en algoritmos de clasificación, para poder asignar un nivel de severidad de SAHS a los pacientes. Son fundamentales en este proceso de diagnóstico las nuevas funcionalidades de la aplicación desarrolladas para este proyecto: la foto de la boca para aplicar el Test de Mallampati y los datos biométricos para que todo el proceso de diagnóstico se realice desde la aplicación.

También en la versión de la aplicación se podría realizar automáticamente el Test de Mallampati utilizando algoritmos de análisis de imagen.

Tras el análisis del registro, la aplicación enviaría una notificación al usuario con la recomendación de diagnóstico, para que, en caso de sufrir SAHS, el paciente acuda al hospital para someterse a la prueba diagnóstica, PSG.

Cabe destacar que la aplicación se podría generalizar a otros tipos de patologías que se puedan diagnosticar a través de los sonidos de la tos, análisis de voz, sonidos respiratorios, anosmias, etc. utilizando tecnologías emergentes en este campo [5], [69], [70].

# Referencias

---

- [1] B. Jurado-Gámez, O. Guglielmi, F. Gude, and G. Buela-Casal, "Accidentes laborales, absentismo y productividad en pacientes con apneas del sueño," *Arch. Bronconeumol.*, vol. 51, no. 5, pp. 213–218, May 2015.
- [2] A. I. Pack, *Sleep apnea : pathogenesis, diagnosis, and treatment*. Informa Healthcare, 2012.
- [3] F. Mearin, F. Guarner, and E. Verdú, "Probióticos y aparato digestivo. Evidencias actuales," *Gastroenterol. Hepatol.*, vol. 32, pp. 1–14, May 2009.
- [4] A. Malhotra and R. L. Owens, "What is central sleep apnea?," *Respir. Care*, vol. 55, no. 9, pp. 1168–78, Sep. 2010.
- [5] F. Mendonça, S. S. Mostafa, A. G. Ravelo-García, F. Morgado-Dias, and T. Penzel, "Devices for Home Detection of Obstructive Sleep Apnea: A Review," *Sleep Med. Rev.*, Feb. 2018.
- [6] B. A. Al-Shawwa, A. N. Badi, A. N. Goldberg, and B. T. Woodson, "Defining common outcome metrics used in obstructive sleep apnea," *Sleep Med. Rev.*, vol. 12, no. 6, pp. 449–461, Dec. 2008.
- [7] J. Behar, A. Roebuck, J. S. Domingos, E. Geder, and G. D. Clifford, "A review of current sleep screening applications for smartphones," *Physiol. Meas.*, vol. 34, no. 7, pp. R29–R46, Jul. 2013.
- [8] B. Calabrese *et al.*, "A System for the Analysis of Snore Signals," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 4, pp. 1101–1108, Jan. 2011.
- [9] J. Durán-Cantolla, J. Mar, G. de La Torre Muñecas, R. Rubio Aramendi, and L. Guerra, "[The availability in Spanish public hospitals of resources for diagnosing and treating sleep apnea-hypopnea syndrome].," *Arch. Bronconeumol.*, vol. 40, no. 6, pp. 259–67, Jun. 2004.
- [10] A. Roebuck *et al.*, "A review of signals used in sleep analysis A review of signals used in sleep analysis \*," *Physiol. Meas. 35 R1 Inst. Phys. Eng. Med. Physiol. Meas. Physiol. Meas.*, vol. 35, pp. 1–57, 2014.
- [11] T. Penzel, "Home Sleep Testing," in *Principles and Practice of Sleep Medicine*, Elsevier, 2017, p. 1610–1614.e3.
- [12] "Poligrafía Nocturna del Sueño Domiciliaria." [Online]. Available: <https://www.cechin.com.ar/poligrafia-nocturna-del-sueno/>. [Accessed: 29-May-2018].
- [13] F. Rodríguez González, "Análisis y estudio de ronquidos para la detección de trastronos respiratorios durante el sueño," *Trab. Fin Máster*, 2015.
- [14] "Could the future hospital be in the home? - BBC News." [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/health-28272809>. [Accessed: 11-Jun-2018].
- [15] "BIG DATA: SU PROYECCIÓN EN LA GESTIÓN SANITARIA."
- [16] "HACIA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DEL SECTOR DE LA SALUD 10 MEDIDAS PARA SU IMPULSO."
- [17] L. B. Madsen, *Data-driven healthcare : how analytics and BI are transforming the industry.*
- [18] H. Chung, "How Smartphone Technology Is Changing Healthcare In Developing Countries," *J. Glob. Health*, 2016.
- [19] "Año 2017: más de 5.000 millones de usuarios de móviles." [Online]. Available: [http://www.abc.es/tecnologia/moviles/telefonía/abci-2017-mas-5000-millones-usuarios-moviles-201703011345\\_noticia.html](http://www.abc.es/tecnologia/moviles/telefonía/abci-2017-mas-5000-millones-usuarios-moviles-201703011345_noticia.html). [Accessed: 07-Jun-2018].
- [20] "Necklace For Long-term And Robust Cardiac Monitoring In Daily Life -- ScienceDaily." [Online]. Available: <https://www.sciencedaily.com/releases/2009/09/090902122336.htm>. [Accessed: 11-Jun-2018].
- [21] "Tech to take the stress out of stress - BBC News." [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/business-29742908>. [Accessed: 11-Jun-2018].
- [22] "Introducing our smart contact lens project." [Online]. Available: <https://blog.google/topics/alphabet/introducing-our-smart-contact-lens/>.
- [23] R. Roth, E. A. M. Frost, C. Ord Gevirtz, and C. L. H. Atcheson, "The Role of Anesthesiology in Global Health 123 A Comprehensive Guide."
- [24] A. Burgos, A. Goñi, A. Illarramendi, and J. Bermudez, "Real-Time Detection of Apneas on a PDA," *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 14, no. 4, pp. 995–1002, Jul. 2010.
- [25] J. Zhang, Q. Zhang, Y. Wang, and C. Qiu, "A real-time auto-adjustable smart pillow system for sleep apnea detection and treatment," in *Proceedings of the 12th international conference on Information processing in sensor networks - IPSN '13*, 2013, p. 179.
- [26] N. Oliver and F. Flores-Mangas, "HealthGear: Automatic Sleep Apnea Detection and Monitoring with a Mobile Phone."
- [27] A. Garde, W. Karlen, P. Dehkordi, D. Wensley, J. M. Ansermino, and G. A. Dumont, "Oxygen



- saturation in children with and without obstructive sleep apnea using the phone-oximeter,” in *2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2013, vol. 2013, pp. 2531–2534.
- [28] G. Angius and L. Raffo, “A sleep apnoea keeper in a wearable device for Continuous detection and screening during daily life,” in *2008 Computers in Cardiology*, 2008, pp. 433–436.
  - [29] Jae Hyuk Shin, Young Joon Chee, Do-Un Jeong, and Kwang Suk Park, “Nonconstrained Sleep Monitoring System and Algorithms Using Air-Mattress With Balancing Tube Method,” *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 14, no. 1, pp. 147–156, Jan. 2010.
  - [30] D. C. Mack, M. Alwan, B. Turner, P. Suratt, and R. A. Felder, “A Passive and Portable System for Monitoring Heart Rate and Detecting Sleep Apnea and Arousals: Preliminary Validation,” in *1st Transdisciplinary Conference on Distributed Diagnosis and Home Healthcare, 2006. D2H2.*, pp. 51–54.
  - [31] J. Jin and E. Sanchez-Sinencio, “A Home Sleep Apnea Screening Device With Time-Domain Signal Processing and Autonomous Scoring Capability,” *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 9, no. 1, pp. 96–104, Feb. 2015.
  - [32] Y. Nam, Y. Kim, and J. Lee, “Sleep Monitoring Based on a Tri-Axial Accelerometer and a Pressure Sensor,” *Sensors*, vol. 16, no. 5, p. 750, May 2016.
  - [33] E. Rodriguez-Villegas, G. Chen, J. Radcliffe, and J. Duncan, “A pilot study of a wearable apnoea detection device,” *BMJ Open*, vol. 4, no. 10, p. e005299, Oct. 2014.
  - [34] O. Salem, Yaning Liu, and A. Mehaoua, “Pervasive detection of sleep apnea using medical wireless sensor networks,” in *2014 IEEE 16th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*, 2014, pp. 435–440.
  - [35] M. Bsoul, H. Minn, and L. Tamil, “Apnea MedAssist: Real-time Sleep Apnea Monitor Using Single-Lead ECG,” *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 15, no. 3, pp. 416–427, May 2011.
  - [36] A. Otero, S. F. Dapena, P. Felix, J. Presedo, and M. Tarasco, “A low cost screening test for Obstructive Sleep Apnea that can be performed at the patient’s home,” in *2009 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing*, 2009, pp. 199–204.
  - [37] E. Kaniusas, L. Mehnen, H. Pfützner, B. Saletu, and R. Popovic, “EVALUATION OF ACOUSTIC SIGNALS FOR THE DETECTION OF SLEEP APNEA EVENTS.”
  - [38] Yuxia Zhao, Haixiu Zhang, Wenlong Liu, and Shuxue Ding, “A snoring detector for OSAHS based on patient’s individual personality,” in *2011 3rd International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST)*, 2011, pp. 24–27.
  - [39] H. Nakano, M. Hayashi, E. Ohshima, N. Nishikata, and T. Shinohara, “Validation of a new system of tracheal sound analysis for the diagnosis of sleep apnea-hypopnea syndrome,” *Sleep*, vol. 27, no. 5, pp. 951–7, Aug. 2004.
  - [40] R. Nandakumar, S. Gollakota, and N. Watson, “Contactless Sleep Apnea Detection on Smartphones,” in *Proceedings of the 13th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services - MobiSys ’15*, 2015, pp. 45–57.
  - [41] M. Al-Mardini, F. Aloul, A. Sagahyroon, and L. Al-Husseini, “On the use of smartphones for detecting obstructive sleep apnea,” in *13th IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering*, 2013, pp. 1–4.
  - [42] A. Yilmaz and T. Dundar, “Home recording for pre-phase sleep apnea diagnosis by Holter recorder using MMC memory,” in *2010 IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems*, 2010, pp. 126–129.
  - [43] A. Yadollahi and Z. Moussavi, “Acoustic obstructive sleep apnea detection,” in *2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2009, vol. 2009, pp. 7110–7113.
  - [44] “Mobile Operating System Market Share Worldwide | StatCounter Global Stats.” [Online]. Available: <http://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide/#monthly-200901-201805>. [Accessed: 07-Jun-2018].
  - [45] “Todas las versiones del sistema operativo Android.” [Online]. Available: <https://norfipc.com/celulares/todas-versiones-sistema-operativo-android.php>. [Accessed: 12-Jun-2018].
  - [46] “Most popular operating systems on desktop and mobile.” [Online]. Available: <https://mybroadband.co.za/news/software/254529-most-popular-operating-systems-on-desktop-and-mobile.html>. [Accessed: 12-Jun-2018].
  - [47] “• Smartphone OS global market share 2009-2018 | Statista.” [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/266136/global-market-share-held-by-smartphone-operating-systems/>. [Accessed: 12-Jun-2018].

- [48] "Real Decreto 1720/2007, de 21 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de protección de datos de carácter personal," 2008. [Online]. Available: <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-979>.
- [49] "Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal," 1999. [Online]. Available: <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1999-23750>.
- [50] "Download Android Studio and SDK tools | Android Developers." [Online]. Available: <https://developer.android.com/studio/>. [Accessed: 16-Aug-2018].
- [51] "Noxturnal Sleep Study Software - Sleep Software for Sleep Studies." [Online]. Available: <https://noxmedical.com/products/noxturnal-software/>. [Accessed: 24-Aug-2018].
- [52] "¿Qué es LabVIEW? - National Instruments." [Online]. Available: <http://www.ni.com/es-es/shop/labview.html>. [Accessed: 24-Aug-2018].
- [53] "MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico - MATLAB & Simulink." [Online]. Available: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>. [Accessed: 06-Sep-2018].
- [54] "Audacity ® | Free, open source, cross-platform audio software for multi-track recording and editing." [Online]. Available: <https://www.audacityteam.org/>. [Accessed: 24-Aug-2018].
- [55] "Python 3.0 Release | Python.org." [Online]. Available: <https://www.python.org/download/releases/3.0/>. [Accessed: 05-Sep-2018].
- [56] G. L. Cuendet, A. Yüce, J.-P. Thiran, M. Sorci, P. Schoettker, and C. Perruchoud, "Automatic Mallampati Classification Using Active Appearance Models," 2012.
- [57] "Online Mockup, Wireframe & UI Prototyping Tool · Moqups." [Online]. Available: <https://app.moqups.com/edit/page/ad64222d5>. [Accessed: 27-Aug-2018].
- [58] "Microsoft PowerPoint 2016, presentación con diapositivas." [Online]. Available: <https://products.office.com/es-es/powerpoint>. [Accessed: 04-Sep-2018].
- [59] "Búsqueda avanzada de imágenes de Google." [Online]. Available: [https://www.google.com/advanced\\_image\\_search](https://www.google.com/advanced_image_search). [Accessed: 27-Aug-2018].
- [60] "Editor de Fotos en Línea Gratuito." [Online]. Available: <https://www.online-image-editor.com/?language=spanish>. [Accessed: 27-Aug-2018].
- [61] "Photo Editor | BeFunky: Free Online Photo Editor." [Online]. Available: <https://www.befunky.com/create/>. [Accessed: 27-Aug-2018].
- [62] "GIMP." [Online]. Available: <https://www.gimp.org/>.
- [63] "Asistente para la creación de logotipos | Logaster - Generador de Logo en línea." [Online]. Available: <https://www.logaster.com.es/logo/#first>. [Accessed: 27-Aug-2018].
- [64] "Da Button Factory: website button maker." [Online]. Available: <https://dabuttonfactory.com/>. [Accessed: 27-Aug-2018].
- [65] "Mendeley - Reference Management Software & Researcher Network." [Online]. Available: <https://www.mendeley.com/homepage8/?switchedFrom=>. [Accessed: 05-Sep-2018].
- [66] "Sleep Apnea Testing at Home." [Online]. Available: <https://www.sleep-apnea-guide.com/sleep-apnea-testing.html>. [Accessed: 29-Aug-2018].
- [67] F. Javier, P. Cuesta, G. P. Arboledas, J. Santa, M. Cano, and J. D. Es, "DOCUMENTO DE CONSENSO NACIONAL SOBRE EL SÍNDROME DE APNEAS-HIPOPNEAS DEL SUEÑO (SAHS) REALIZADO POR EL GRUPO ESPAÑOL DE SUEÑO (GES) COMITÉ DE REDACCIÓN Asociación ibérica de Patología del Sueño (AIPS) Asociación Española de Pediatría (AEP) Sociedad Española de Neurología (SEN) COORDINADOR Joaquín Durán-Cantolla."
- [68] "Clasificación de Mallampati -." [Online]. Available: <https://masteremergenciasua.com/clasificacion-de-mallampati/>. [Accessed: 06-Sep-2018].
- [69] D. J. Yáñez, A. Toledano, E. Serrano, F. B. Martín de Rosales, Ana María Rodríguez, and P. Varona, "Characterization of a clinical olfactory test with an artificial nose," *Front. Neuroeng.*, vol. 5, no. FEBRUARY, p. 1, 2012.
- [70] D.-H. Shin *et al.*, "The Effect of Sleep Disordered Breathing on Olfactory Functions: Analysis by Apnea-Hypopnea Index," *Clin Exp Otorhinolaryngol*, vol. 10, no. 1, pp. 71–76, 2017.



## Glosario

---

AHI	Índice de Apnea-Hipoapnea, <i>Apnea-Hipoapnea Index</i>
BCG	Balístocardiografía, <i>Ballistocardiograph</i>
ECG	Electrocardiograma, <i>Electrocardiogram</i>
IDE	Entorno de desarrollo integrado, <i>Integrated Development Enviroment</i>
kHz	KiloHercio, <i>KiloHertz</i>
MB	MegaByte
ODI	Índice de Desaturación de Oxígeno, <i>Oxygen Desaturation Index</i>
PB	PetaByte
PCM	Modulación por Impulsos Modificados, <i>Pulse Code Modulation</i>
PDA	Asistente Personal Digital, <i>Personal Digital Assistant</i>
PPG	Fotopleetismografía, <i>Photoplethysmography</i>
PSG	Polisomnografía, <i>Polysomnography</i>
SAHS	Síndrome de Apneas-Hipoapneas del Sueño
SpO <sub>2</sub>	Saturación de Oxígeno en Sangre, <i>Blood Oxygen Saturation</i>
TIC	Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones
VAS	Vía Aérea Superior

## **Anexos**

---

### **A Consentimiento Informado**

#### **HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE**

##### **ANÁLISIS DE REGISTROS SONOROS PARA LA DETECCIÓN DE TRASTORNOS RESPIRATORIOS DURANTE EL SUEÑO**

Apreciado/a Sr/a.,

Se le invita a participar en un estudio sobre registros sonoros para la detección de trastornos respiratorios durante el sueño, es importante que entienda en qué consiste. Por favor, lea detenidamente este documento y haga a su médico todas las preguntas que le puedan surgir.

##### **Objetivo del estudio**

Este estudio consiste en investigar cómo los registros sonoros realizados por los propios pacientes pueden contribuir al diagnóstico de enfermedades respiratorias del sueño. Se estima que 90% de los enfermos de síndrome de apnea-hipoapnea del sueño no están diagnosticados, ni están en tratamiento. Lo que se pretende con este estudio es evaluar un método de recomendación de diagnóstico sencillo, de bajo coste, que alcance a un mayor porcentaje de la población y permita identificar los pacientes que deben ser valorados para descartar la enfermedad. Para ello, además de las pruebas habituales que se le practican para el control de su enfermedad, se le pedirá que haga un registro sonoro con su teléfono móvil y rellene un cuestionario. No se realizará ninguna prueba extra fuera de las que se realizan en la práctica clínica habitual más allá del registro sonoro. No recibirá tratamiento diferente a los que está tomando, salvo que su médico lo creyera conveniente.

##### **Participación voluntaria**

**Su participación es totalmente voluntaria.**

Es usted libre de aceptar o no la posibilidad de colaborar en este estudio sin que por ello se vea afectada su futura atención médica.

##### **Procedimientos del estudio**

Si usted accede a colaborar en este estudio, debe saber que serán utilizados algunos datos sobre su salud de forma anónima. Además deberá responder a un breve cuestionario que recogerá datos de su enfermedad y calidad de vida. Sus documentos médicos podrían ser revisados por personas dependientes de las Autoridades Sanitarias, miembros de comités éticos independientes y otras personas designadas por ley para comprobar que el estudio se está llevando a cabo correctamente.

##### **Beneficios y riesgos esperados**

Quizás usted no obtendrá ningún beneficio directo de este estudio, pero con la información obtenida de todos los pacientes participantes en este Estudio se puede mejorar el tratamiento / conocimiento de enfermedades respiratorias del sueño y las comorbilidades asociadas a la misma. Si decide participar en el estudio, se le proporcionará cualquier información adicional que se obtenga

durante el desarrollo del estudio, que pueda afectar a su decisión de participar en el mismo.

No existe ningún riesgo relacionado con la participación en este estudio.

## **Confidencialidad**

Toda su información será tratada de forma estrictamente confidencial. Su identificación se realizará solamente por un número. El tratamiento de los datos de carácter personal requeridos en este estudio se rige por la Ley Orgánica 15/1999, teniendo usted los derechos que la citada ley le reconoce. La información obtenida de este estudio no podrá ser revelada a ninguna persona sin su consentimiento por escrito, excepto a su médico o sus colaboradores, al promotor del estudio o sus representantes, a los Comités Éticos de Investigación Clínica de los hospitales dónde se está realizando el estudio y, en el caso que lo requieran, a las autoridades competentes de las Comunidades Autónomas.

En la práctica, la transmisión de la información se hará de forma que no permita identificarle. Sus datos serán objeto de un tratamiento codificado, de modo que la información que se obtenga no pueda asociarse a persona identificada o identificable. Todos sus datos se mantendrán estrictamente confidenciales y exclusivamente su médico conocerá su identidad. Ningún dato personal que permita su identificación será accesible a ninguna persona que no sea su médico, ni podrán ser divulgados por ningún medio, conservando en todo momento la confidencialidad médico-paciente.

Los resultados obtenidos en este estudio se usarán para presentaciones o publicaciones científicas. En el caso de los resultados de este estudio se publicasen, su nombre no será nunca mencionado. En dichas publicaciones o presentaciones se mantendrá la confidencialidad de los datos, de acuerdo con la Ley Orgánica de protección de datos de carácter personal 15/1999 de 13 de diciembre.

Debe saber que este estudio ha sido aprobado por el Comité Ético y que se realizará cumpliendo la legislación europea y española vigente para este tipo de estudio

Si desea hacer alguna pregunta o aclarar algún tema relacionado con el estudio, o si precisa ayuda por cualquier problema de salud relacionado con este estudio, por favor, no dude en ponerse en contacto con:

Dr.: ..... Teléfono: .....

Los investigadores le agradece su inestimable colaboración.

## CONSENTIMIENTO INFORMADO

### ANÁLISIS DE REGISTROS SONOROS PARA LA DETECCIÓN DE TRASTORNOS RESPIRATORIOS DURANTE EL SUEÑO

Yo .....

he leído la hoja de información que se me ha entregado. He podido hacer preguntas sobre el estudio.

He hablado con: .....

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo renunciar al estudio:

1. En cualquier momento
2. Sin tener que dar explicaciones
3. Sin que esto repercuta en mis cuidados médicos

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio

.....

Fecha

.....

Firma del paciente

.....

Fecha

.....

Firma del médico

## ***B Manual de Instalación***

Para instalar la aplicación en un dispositivo móvil habrá que seguir los siguientes pasos:

1. Descargar el entorno Android Studio. Podrá descargarlo en el siguiente enlace: <https://developer.android.com/studio/>.
2. En el enlace se ofrecen los pasos a seguir para instalar Android Studio.
3. Ya que el proyecto de código estará en el ordenador del Hospital Fundación Alcorcón no hará falta descargarlo.
4. Abrir la herramienta Android Studio y seleccionar File → Open. Tras abrirse el Explorador de Archivos, seleccionar la carpeta del proyecto de la aplicación.
5. Una vez abierto el proyecto, habrá que conectar el móvil al ordenador. Para ello, será necesario saber qué tipo de USB utiliza el móvil. Hay dos tipos de USB: USB C (izquierda de la imagen) y Micro USB (derecha de la imagen).




6. Cuando se conecte el móvil al ordenador, habrá que activar el modo desarrollador en el dispositivo móvil para poder instalar la aplicación. Para ello se deberá acceder, en el móvil, a los Ajustes → Información del teléfono (esta opción puede cambiar de nombre, puede que sea Acerca del teléfono, u otras) → Pulsar 7 veces sobre la opción Número de compilación, hasta que se active el Modo Desarrollador.
7. Una vez activado, acceder a Ajustes → Opciones de desarrollo → Activar la opción Depuración por USB.
8. A continuación, pulsar en el botón Run app (▶) en el Android Studio. En el teléfono, aparecerá un mensaje pidiendo al usuario permiso para utilizar la depuración por USB. El usuario deberá permitir pulsando en aceptar.
9. En la ventana que se abrió al pulsar en el botón ▶ en el Android Studio, se deberá seleccionar el dispositivo conectado para instalar la aplicación en él.



## **C Manual de Uso para el Técnico del Hospital**

A continuación, se explica el proceso que debe seguir el técnico del hospital desde que se instala la aplicación, hasta que se extrae del teléfono:

- Instalar la aplicación siguiendo los pasos del anexo anterior (Anexo B).
- Una vez instalada en el móvil, se abrirá la pantalla de permisos, en la cual el paciente deberá aceptar ambos para que se pueda grabar y se pueda almacenar en el teléfono la grabación.
- Tras aceptar los permisos, se pasará a la pantalla en la cual el técnico deberá introducir el ID de paciente correspondiente en el campo disponible.
- Introducido el ID, la aplicación ya estará lista para que se realice la grabación, por lo que se podrá extraer el USB del móvil.
- El paciente se llevará el móvil con la aplicación instalada y el polígrafo, para la recogida de datos nocturna.
- Una vez de vuelta al hospital a la mañana siguiente con las pruebas ya realizadas, se volverá a conectar el móvil al ordenador con el USB.
- Habrá que comprobar si el modo “Utilizar USB para” seleccionado es “Transferir de Archivos”. Para ello, deslizar la pantalla de notificaciones (suele abrirse deslizando el dedo desde la parte superior de la pantalla hacia la inferior). En ella aparecerá una notificación que sea “USB para X”, donde X es el modo. Si muestra “USB para transferir archivos” continuar con el manual. En caso contrario, hacer clic sobre esa notificación. Se abrirá una ventana con diferentes opciones para utilizar el USB. Seleccionar “Transferir Archivos”.
- Una vez conectado, se deberá abrir el Explorador de Archivos () en el ordenador.
- Acceder a dicha ruta en el explorador de archivos:
  - o Pinchar en el dispositivo móvil conectado en el menú lateral.
  - o Acceder al Almacenamiento Interno.
  - o Acceder a la carpeta en la que se encuentra la grabación (el nombre de la carpeta es el ID del paciente introducido).
- Cortar el archivo, para que no se quede en el móvil ocupando espacio, y pegarlo en la carpeta “Grabaciones” que se encuentra en el Escritorio del ordenador del hospital.
- Cuando finalice la copia, habrá que eliminar la aplicación del teléfono móvil. Acceder a las aplicaciones del teléfono. Mantener el dedo sobre el icono de la aplicación Apneadiag, y arrastrarla a un botón Eliminar que aparecerá en la pantalla.

## **D Instrucciones de Uso**

A continuación, se muestran las instrucciones que deberán seguir los usuarios para utilizar correctamente la aplicación Apneadiag (también dispondrán de estas instrucciones en los ajustes de la aplicación para consultar cualquier duda que surja):

### **Preparatorio para la Grabación:**

- Mantener el cargador enchufado durante toda la grabación para que no se apague el móvil.
- Se recomienda activar el Modo Avión antes de empezar a grabar para que ésta no se vea interrumpida por llamadas telefónicas, siempre y cuando no esté a la espera de una llamada urgente.
- El móvil deberá disponer de 100 MB de memoria disponible para la grabación.
- El dispositivo móvil deberá estar lo más cerca posible a su cabeza, ya sea en la mesilla de noche o sobre otro elemento que lo mantenga a una distancia cercana a la almohada. Oriente el micrófono (situado en la parte inferior del teléfono) hacia la almohada.

### **Avisos precedentes a la Grabación:**

- Cada vez que se abra la pantalla de grabación, si usted no dispone de los 100 MB de espacio en memoria, se le abrirá un aviso que le mostrará el espacio de memoria que debe liberar de su móvil para que la grabación se pueda realizar.
- A las 23:30 le llegará una notificación al móvil como recordatorio de que es recomendable activar el modo avión durante la noche para no interrumpir la grabación, siempre y cuando no esté esperando una llamada urgente.
- A las 23:30 le llegará un recordatorio para que conecte el cargador al móvil. Como se ha mencionado antes, éste deberá mantenerse conectado durante toda la grabación para que el móvil no se quede sin batería.

### **Grabación:**

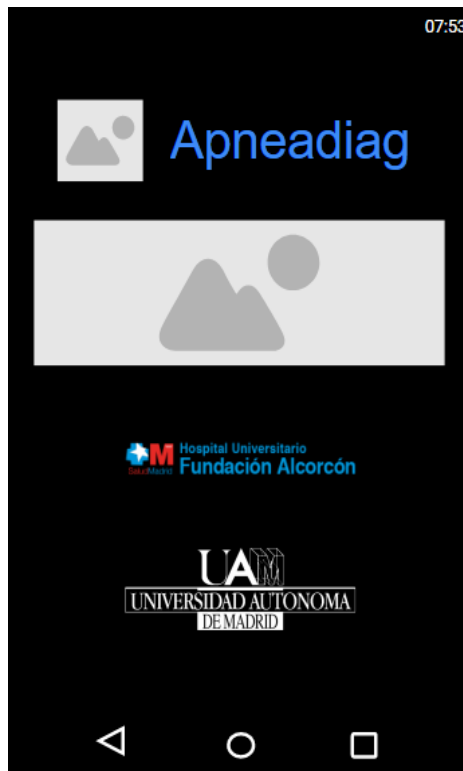
- La grabación empezará automáticamente a las 23:40.
- La grabación finalizará automáticamente a las 6:50.
- Una vez finalizada la grabación, no la borre hasta que esté en manos de los médicos del hospital, ya que ellos la borrarán.

### **Fotografía y Datos de Paciente:**

- El paciente deberá utilizar el icono de la cámara, situado en la Pantalla de Grabación para hacerse una foto de la boca sacando la lengua para poder diagnosticar con más precisión la apnea del sueño.
- El paciente deberá acceder al formulario, icono situado a la derecha de la cámara en la Pantalla principal de Grabación, para rellenar sus datos biométricos y la marca y el modelo de su teléfono móvil.

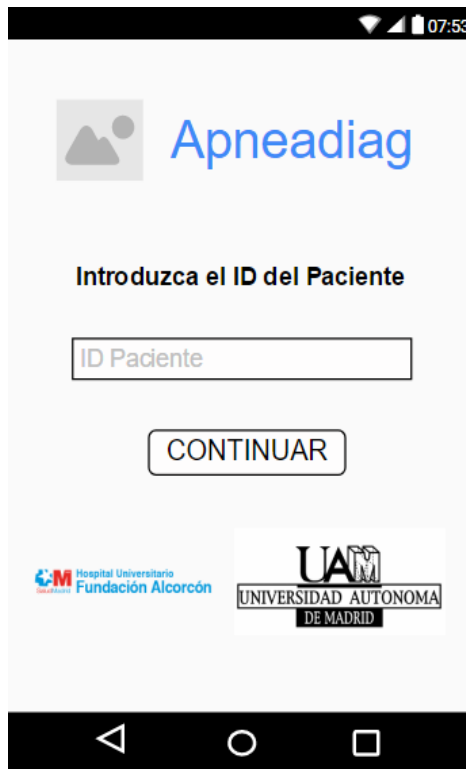
## ***E Maquetas de la Aplicación***

- **Pantalla de Carga de la Aplicación:**



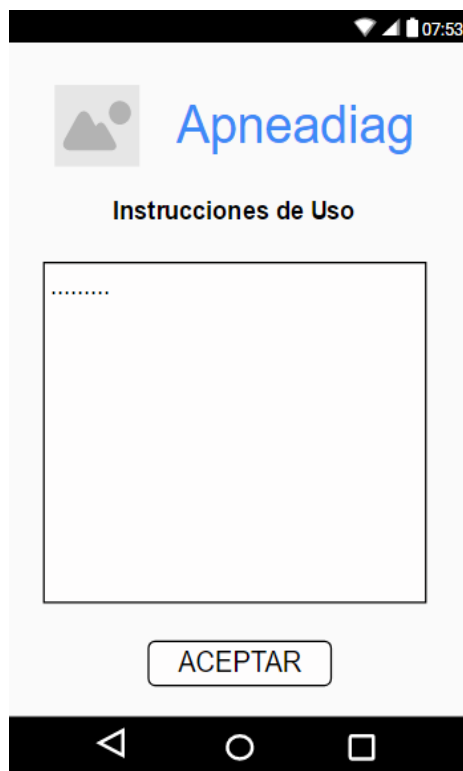
**Maqueta de la Pantalla Carga de la Aplicación**

- **Formulario de Registro del Paciente:**



**Maqueta de la Pantalla de Registro del ID del Paciente**

- **Instrucciones de uso:**



**Maqueta de la Pantalla de Instrucciones de Uso**

- **Pantalla de Grabación:**



**Maqueta de la Pantalla de Grabación en Estado Listo**

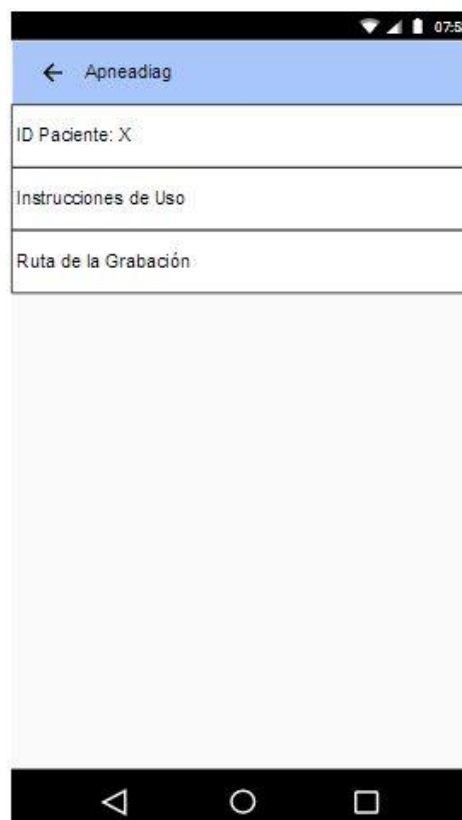


**Maqueta de la Pantalla de Grabación en Estado Grabando**



**Maqueta de la Pantalla de Grabación en Estado Finalizado**

- **Ajustes:**



**Maqueta de la Pantalla de Ajustes**

- **Formulario de Datos Biométricos y del Teléfono:**



The image shows a mobile application interface for a patient data form. At the top, there is a blue header bar with a back arrow and the text 'Apneadiag'. Below the header is a large gray rectangular area containing a placeholder image of a person. Underneath this is the instruction 'Introduzca los siguientes datos:'. The form includes several input fields: 'Género:' with radio buttons for 'Hombre' and 'Mujer', 'Edad:', 'Peso (Kg):', 'Altura (cm):', 'Marca del Móvil:', and 'Modelo del Móvil:'. A 'Confirmar' button is located below the input fields. At the bottom of the form area, there are two more placeholder images of a person. The entire form is set against a light gray background. The top of the screen shows a black status bar with signal, battery, and time (07:33) icons. The bottom of the screen shows a black navigation bar with standard Android navigation icons (back, home, recent apps).

**Maqueta del Formulario de Datos y Móvil del Paciente**